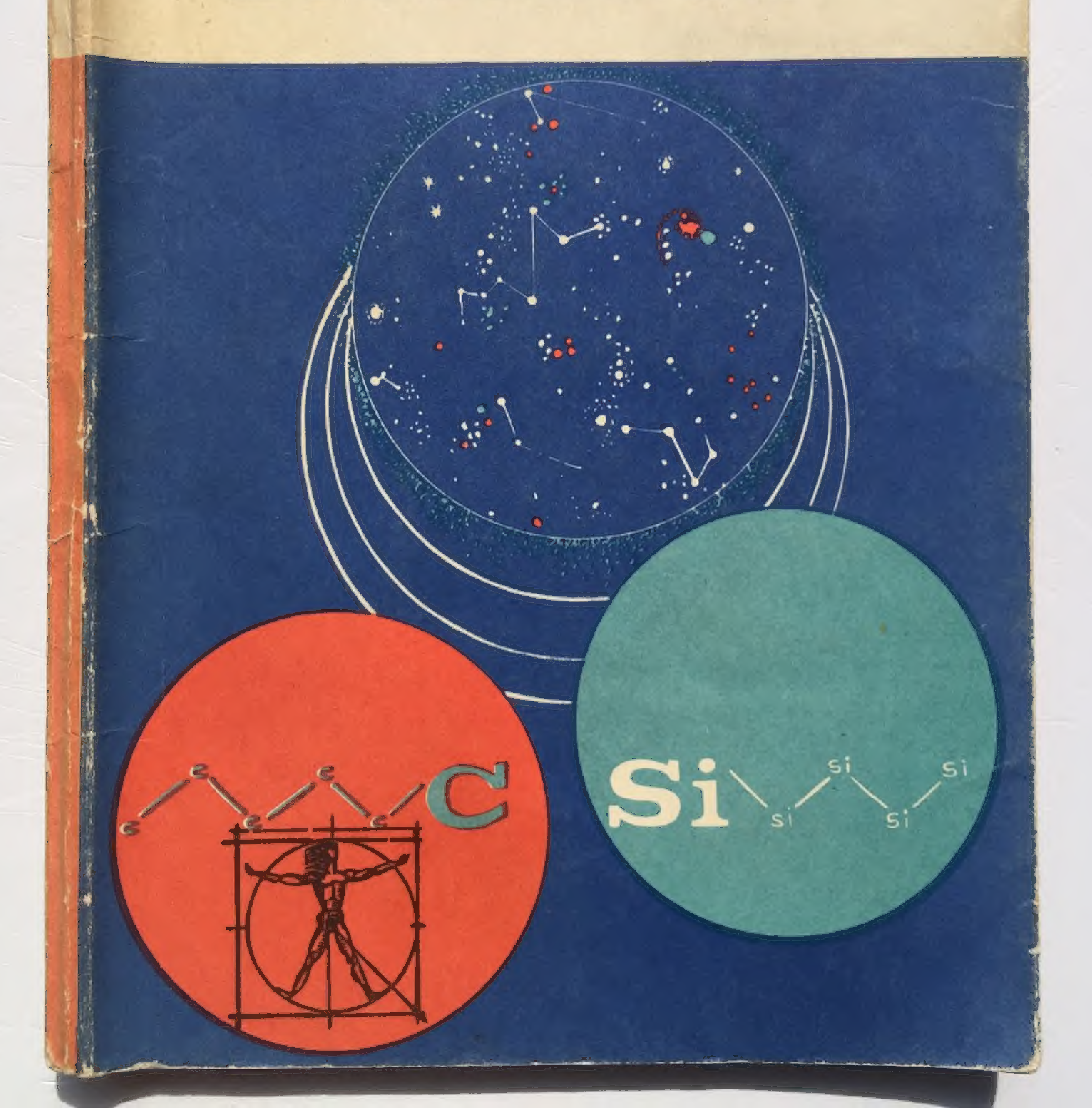
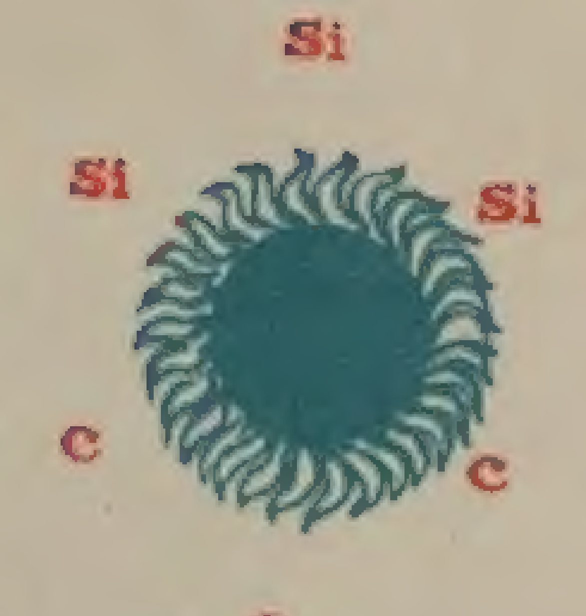
Майкл В. Овенден

Жизнь во вселенной



Есть ли жизнь вне Земли? Каковы условия, при которых возможно развитие жизни? Чем внеземная жизнь может отличаться от знакомых нам форм земной жизни? Сколько обитаемых планет во Вселенной? Существует ли жизнь на Марсе?

На все эти вопросы, так волнующие людей в век начавшегося освоения космоса, в увлекательной форме дается ответ в этой небольшой популярной книжке. Книга рассчитана на школьников старших классов и будет с интересом прочитана всеми читателями, интересующимися достижениями науки.



ИЗДАТЕЛЬСТВО

«МИР»

Michael W. Ovenden

LIFE IN THE UNIVERSE

a scientific discussion

NEW YORK 1962

Майкл В. Овенден

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

научное обсуждение

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» • МОСКВА 1965

УДК 523.07

Перевод с английского
К. А. ЛЮБАРСКОГО

Редакция космических исследований, астрономии и геофизики

СОДЕРЖАНИЕ

Майкл В. Овенден

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Редактор *Р. Г. Шнейдер*
Художник *В. Л. Кейдан*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *А. В. Грушин*
Корректор *Л. Д. Кучерова*
Сдано в производство 3/XI 1964 г. Подписано к печати 24/III 1965 г.
Бумага 84×108¹/₃₂ 1,888 бум. л. 6,15 печ. л. Уч.-изд. 5,12
Изд. № 27/3024 Цена 26 коп. Зак. 5749.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «М И Р»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Произв.-издат. комбинат ВИНИТИ
Люберцы, Октябрьский пр., 403


ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

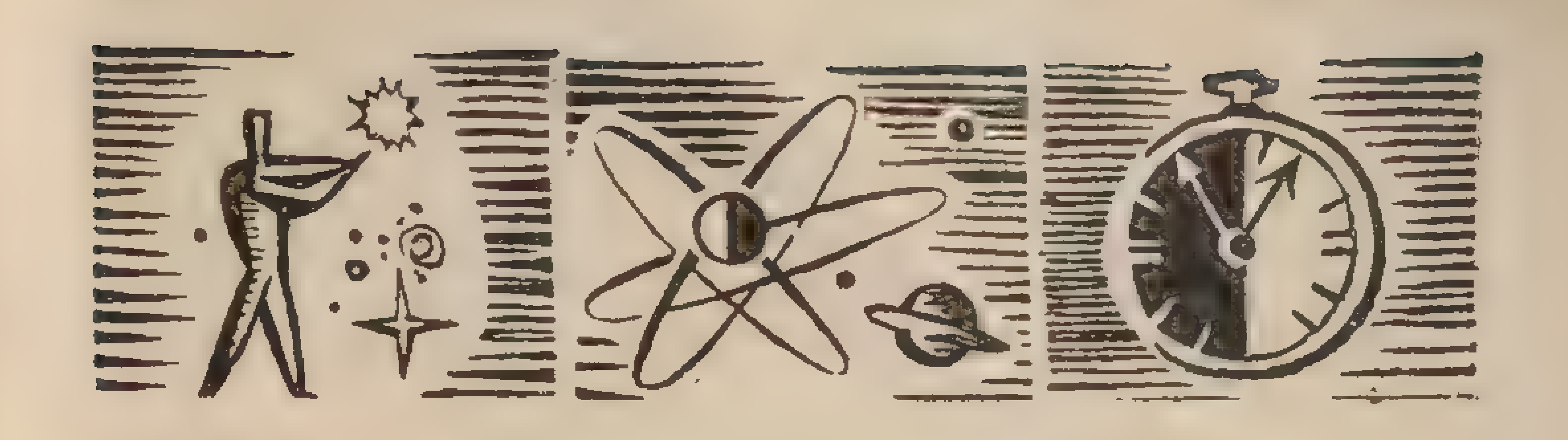
Есть ли жизнь вне Земли? Каковы условия, при которых возможно развитие жизни? Чем внеземная жизнь может отличаться от знакомых нам форм земной жизни? Сколько обитаемых планет во Вселенной? Существует ли жизнь на Марсе?

Этими вопросами, так волнующими людей в век освоения космоса, начало которому положил Советский Союз, занимается молодая наука астробиология. Эта наука тоже родилась в СССР и тесно связана с именем нашего замечательного ученого Гавриила Адриановича Тихова (1875—1960).

Предлагаемая вниманию читателя книга, принадлежащая перу английского астронома М. Овендена, представляет собой популярный и увлекательно написанный очерк по астробиологии. Как и во всякой молодой науке, в астробиологии есть много неустоявшегося, идут споры по различным проблемам, и потому не удивительно, если читатель обнаружит, что раньше он встречался с другими взглядами. Многие высказывания автора отражают его личную точку зрения, но в целом он стоит на правильных материалистических позициях.

Попутно читатель получит много интересных сведений из самых различных областей науки. Чтение книги не требует каких-либо специальных знаний: она рассчитана на школьников старших классов и будет с интересом прочитана всеми, кто интересуется достижениями науки.





I. ЖИЗНЬ И ВСЕЛЕННАЯ

Ранние цивилизации, возникшие в долинах великих рек Месопотамии за тысячи лет до нашей эры, имели представления о природе Вселенной, которые сейчас нам кажутся наивными. Они полагали, что Земля (т. е. материя) возникла при смешении соленой и пресной воды, ибо люди могли видеть, как образуются отложения ила в дельтах рек при впадении их в Персидский залив. Люди считали развитие Вселенной результатом борьбы олицетворенных сил, потому что так развивалось их собственное общество. В попытках понять Вселенную они опирались на единственный жизненный опыт — опыт человеческого существа в изменяющемся обществе. (В конце концов, разве, говоря о *законах* природы, мы не усматриваем соответствия между всем миром и человеческим обществом?) Будучи примитивными, эти космологии были все же подлинными предшественниками современной науки. Мы не должны забывать, что наука в конечном итоге — это вид человеческой деятельности и пути ее развития определяются, по существу, местом, которое человек занимает во Вселенной.

Наука не есть только собрание фактов, описывающих мир; гораздо важнее, что это также попытка проникнуть в самую суть, понять строение и динамику Вселенной. По существу, наука пытается понять Вселенную путем проведения аналогий между необычным миром, открывающимся в научном эксперименте и наблю-

дении, и привычным миром повседневного опыта. Чтобы проиллюстрировать это, достаточно одного примера. Большой ряд экспериментов с газами может быть количественно понят, если предположить, что газ состоит из тысяч миллиардов атомов или молекул, ведущих себя как маленькие биллиардные шары. Эта идея была столь плодотворной, что в конце прошлого века некоторые ученые забыли, что это всего лишь аналогия между невидимым атомным миром и миром нашего повседневного восприятия. Они поверили, что атомы и на самом деле — маленькие твердые упругие шарики. С развитием современной атомной физики эксперименты ясно показали, что атомы могут быть уподоблены биллиардным шарам только в некоторых отношениях; в других отношениях их свойства совсем иные. Возникло новое представление, по которому атом состоит из электрически заряженного ядра и нескольких электронов с зарядом противоположного знака, вращающихся вокруг ядра, как маленькие планетки вокруг миниатюрного солнца. Некоторое время электроны и ядра считались мельчайшими частичками вещества, но дальнейшие эксперименты показали, что и эта новая картина не полна, так как если при одних обстоятельствах электрон ведет себя как частица, то при других — он ведет себя как волна.

Во всех случаях сохраняется важное слово «как», ибо все перечисленные теории — это аналогии, и бессмысленно спрашивать, действительно ли атом — это маленький шарик, а электрон — волна. И чем дальше мы будем продвигаться от нашего повседневного опыта, будь то в мир очень малого или очень большого, тем более косвенные аналогии мы будем применять. Но не надо думать, что если наука не может ответить в окончательной и полной форме на вопрос: « Какова же Вселенная *в действительности*?», то и научные теории бесполезны. Это не так. Они помогают нам увидеть характер связей между явлениями, которые кажутся совершенно разными (например, яркость звезды может быть связана со строением атома водорода), и предсказывать результаты дальнейших экспериментов и наблюдений.

Наука *развивается* именно потому, что она всегда готова заменить одну аналогию другой по мере расширения пределов наших знаний о Вселенной.

Я постараюсь рассмотреть в этой книге место человека во Вселенной. Подход к этому вопросу во многом зависит от личной точки зрения, и мои интересы, как астронома, придадут определенный колорит картине, которую я нарисую. Ученые других специальностей или приверженцы иной философии сделали бы упор на другом. Но я полагаю, что, независимо от того, какую область деятельности он избрал, мыслящий человек должен в конце концов задуматься над тем, каким ему представляется место человека во Вселенной. Я надеюсь, что мои размышления будут небезынтересны, сколь бы личными они ни были.

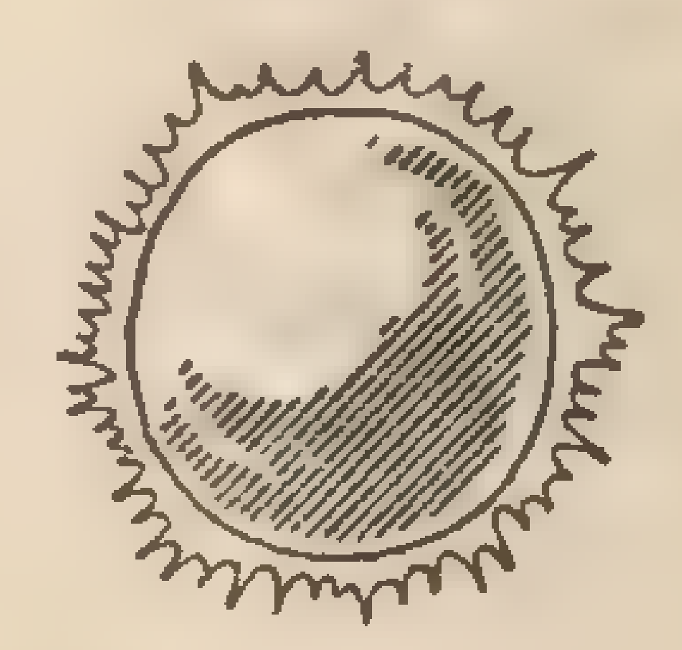
За всем последующим обсуждением будет стоять центральный вопрос: «Является ли жизнь (особенно разумная) редким побочным продуктом процессов, происходящих во Вселенной, которая в лучшем случае безразлична к жизни, или можно рассчитывать на то, что жизнь — довольно широко распространенное явление?» С биологической точки зрения жизнь есть цепь химических реакций, происходящих между большими молекулами. Она не может существовать на поверхности, а тем более в недрах звезд, ибо там слишком горячо, чтобы такие молекулы могли существовать, не разрушаясь. Такие химические реакции не могут происходить достаточно быстро при низких температурах межзвездного пространства (хотя использование слова «быстро» предполагает сравнение с продолжительностью человеческой жизни). Но если окажется, что жизнь возможна только на планете, расположенной на соответствующем расстоянии от звезды, мы должны остерегаться стать на средневековую точку зрения, когда Земля считалась центром Вселенной. Поскольку жизнь приспособилась путем эволюции к широкому диапазону условий на Земле, то какие пределы мы можем поставить ее приспособляемости к еще более разнообразным условиям среды?

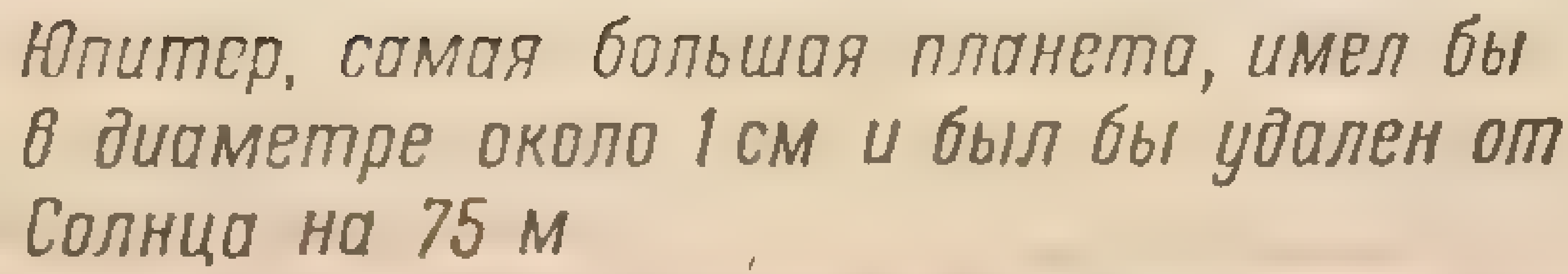
Размеры во Вселенной

Памятуя все сказанное, я начну с обзора современных представлений о физической Вселенной. Астроном тотчас же сталкивается с трудностью: как передать читателю необъятность расстояний, с которыми он встречается при изучении Вселенной, — расстояниями, по сравнению с которыми наш повседневный опыт кажется карликовым и которые не поддаются интуитивному восприятию. В этом отношении астроном не отличается от простых смертных. Лучше всего шаг за шагом переходить от одной модели к другой.

В наше время реактивных самолетов бывалый путешественник может мысленно представить себе размеры Земли. Я часто езжу из Шотландии на южное побережье Англии на автомобиле, на расстояние около 800 километров; я могу проследить этот путь на 30-сантиметровом глобусе и оценить размеры Земли, исходя из непосредственного опыта. Мысленно уменьшим Землю до размеров булавочной головки (рис. 1). В этом масштабе Солнце будет шаром диаметром 15 сантиметров, удаленным от нее на 15 метров. Самая большая планета солнечной системы, Юпитер, будет размером с большую горошину, удаленную от Солнца на 75 метров. Самая далекая планета, Плутон, будет маленькой песчинкой примерно в полукилометре от Солнца. В том же масштабе ближайшая звезда будет другим 15-сантиметровым шаром, удаленным примерно на 3200 километров.

Наше Солнце — всего лишь типичная звезда, одна из многих десятков миллиардов звезд, составляющих нашу Галактику. В нашей Галактике гораздо больше звезд, чем людей на Земле. Мысленно уменьшим Галактику до размеров Земли. Тогда, в том же масштабе, Солнце будет пылинкой диаметром около $^1/_{50}$ миллиметра. Звезды будут удалены друг от друга в среднем на полкилометра и изобразятся пылинками различных размеров. Самые большие звезды в этом масштабе будут диаметром около сантиметра и, помещенные на ме-





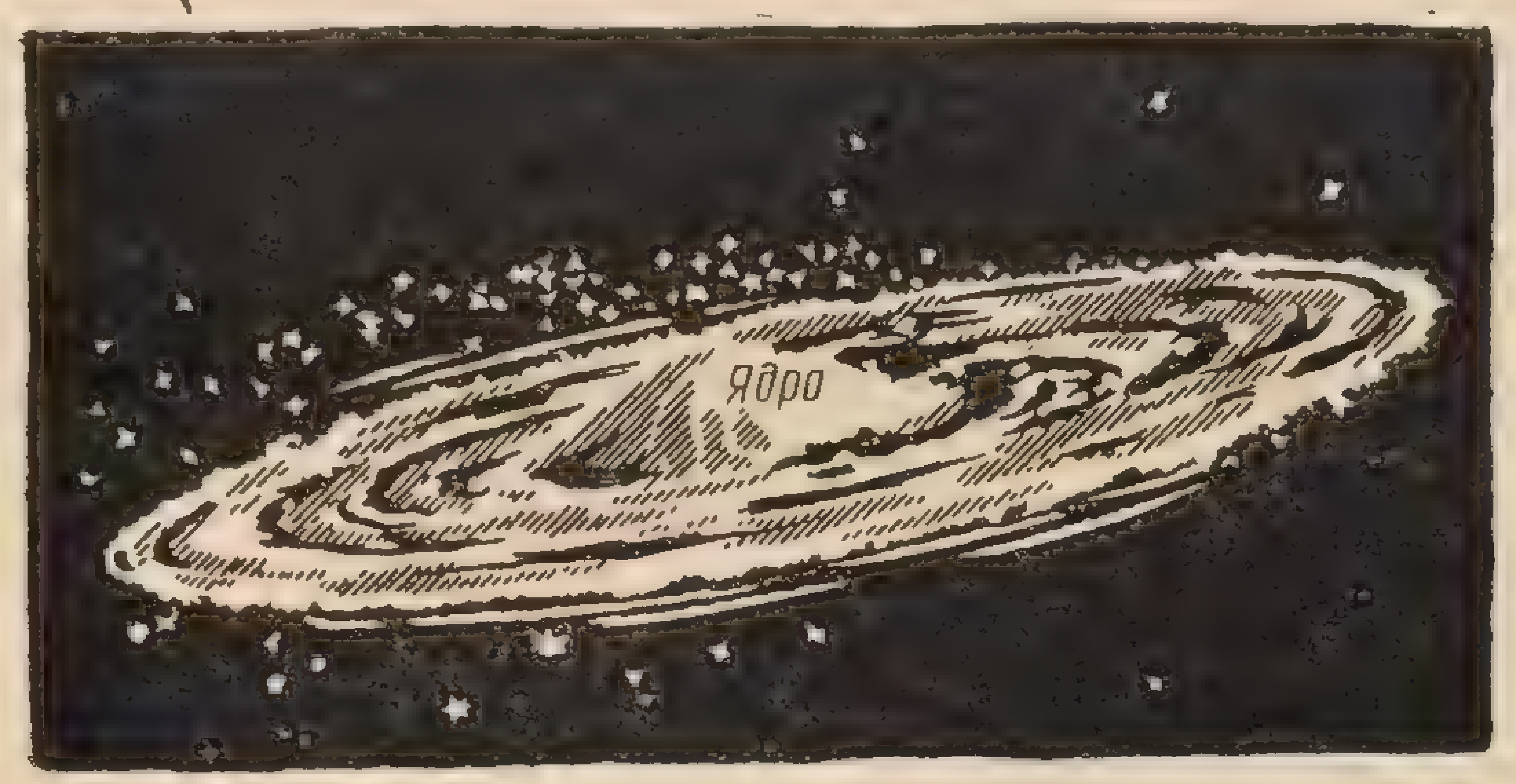


Рис. 1. По сравнению с необъятностью Вселенной расстояния, знакомые нам по повседневному опыту, кажутся нам карликовыми. Наше Солнце движется далеко от ядра Галактики и ничем не выделяется среди десятков миллиардов других звезд.

сто Солнца, перекроют орбиту Земли, тогда как самые маленькие можно будет увидеть только в микроскоп. Самые большие — это красные холодные звезды (температура поверхности около 2000° С); они так разрежены, что их плотность меньше, чем плотность самого высокого лабораторного вакуума. Самые маленькие звезды —

это горячие белые карлики, столь плотные, что спичечная коробка их вещества будет весить тонну. Между звездами пространство равномерно заполнено более разреженным веществом, которое местами собирается в облака межзвездной пыли и газа. Предполагают, что звезды концентрируются именно из этого межзвездного вещества.

Наша Галактика — всего лишь типичная галактика, одна из многих миллионов таких систем, видных в самые крупные телескопы. Они кажутся разбросанными в пространстве более или менее случайно на средних расстояниях друг от друга, в 50 раз превышающих их диаметр. Они обнаруживают тенденцию собираться в группы, или скопления; имеются предположения, что галактики могут образовывать системы более высокого порядка — сверхгалактики. Точно так же как Земля обращается вокруг Солнца (за один год), сохраняя равновесие между стремлением улететь по касательной (инерцией) и стремлением упасть на Солнце под действием его притяжения, так и Солнце движется вокруг центра Галактики (с периодом около 200 миллионов лет); возможно, что и галактики движутся вокруг центров сверхгалактик по орбитам с еще большим периодом.

Масштабы космического времени

В астрономии мы рассматриваем не только огромные расстояния, но и огромные промежутки времени. Описание Вселенной, которое вы только что прочли, не дает представления о том, что Вселенная постоянно изменяется (в деталях, если не в целом), что это динамичная система. Отдельные звезды образуются, светят некоторое время, а затем постепенно гаснут или, как сверхновые, взрываются и рассеивают свое вещество в межзвездном пространстве. Мы постараемся сделать идею изменчивости частью нашей картины Вселенной. Мы постараемся также взглянуть на Землю из глубины ве-

ков, чтобы составить себе представление о ее «космической жизни».

За единицу времени здесь естественно принять период обращения Солнца вокруг центра Галактики — космический год. Мысленно представим себе, что этот период в 200 миллионов лет сократился до одного года (рис. 2). Самые старые звезды в нашей Галактике имеют, по-видимому, возраст около 20 000 миллионов лет (обычных), а Солнце, вероятно, 5000 миллионов лет. Галактика, в *ускоренной* шкале времени, выглядела бы как гигантское фейерверочное колесо, центральные части которого вращались бы быстро, а внешние двигались бы с гораздо меньшей скоростью, обращаясь вокруг центра за много лет. Вся система в целом казалась бы меняющимся световым узором. Спиральная структура, столь хорошо видная на фотографиях галактик, была бы недолговечным рисунком, который образовывался и разрушался бы за несколько дней, сменяясь другим спиральным рисунком (так как спиральные ветви отмечают собой положение ярких голубых звезд, срок жизни которых в привычной нам шкале времени всего несколько миллионов лет). Примерно каждую минуту то здесь, то там вспыхивали бы огоньки — сверхновые звезды, завершающие свою жизнь взрывом. Примерно каждый час мы могли бы видеть появление облаков светлого дыма; если мы присмотримся поближе к таким облакам, то увидим группы звезд, образующихся из межзвездного вещества; эти группы растягиваются и разрушаются неоднородным вращением нашего гигантского фейерверочного колеса.

Вероятно, через 75 космических лет после возникновения Галактики можно было бы наблюдать точно такое же облако дыма. На первый взгляд, оно ничем не отличалось бы от других подобных облаков, но одной из образовавшихся в нем звезд было бы Солнце. Если бы мы следили за огоньком — Солнцем, то нам казалось бы, что за следующие 25 космических лет оно изменилось очень мало, но при более близком рассмотрении обнаружилось бы, что за это время Солнце приобрело несколь-

1 янв. 1865	ОБРАЗОВАЛАСЬ ГАЛАКТИКА	100 ЛЕТ НАЗАД = 20 миллиардов лет назад
1940	ОБРАЗОВАЛОСЬ НАШЕ СОЛНЦЕ	25 ЛЕТ НАЗАД = 5 миллиардов лет назад
1945	ОБРАЗОВАЛАСЬ ЗЕМЛЯ	20 ЛЕТ НАЗАД = 4 миллиарда лет назад
1959	ПЕРВЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ	6 ЛЕТ НАЗАД = 1200 миллионов лет назад
Янв. 1964	ДИНОЗАВРЫ	ГОД НАЗАД = 200 миллионов лет назад
Дек. 1964	ПЕРВЫЙ ЧЕЛОВЕК	1 3/4 СУТОК НАЗАД = 1 миллион лет назад
1 янв. 1965	ЧЕЛОВЕК СОЗДАЕТ ПЕРВЫЕ ГОРОДА	25 МИНУТ = 8000 лет назад
1 янв. 1965	НАЧАЛО НАШЕЙ ЭРЫ	5 1/4 МИНУТЫ = 2000 лет назад
1 янв. 1965	ПЕРВЫЙ ТЕЛЕСКОП ГАЛИЛЕЯ	56 СЕКУНД = 355 лет назад
1 янв. 1965	СРАЖЕНИЕ ПРИ ТРАФАЛЬГАРЕ	25 1/2 СЕКУНДЫ = 160 лет назад
1 янв. 1965	НАЧАЛО ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ, 1939 г.	4 СЕКУНДЫ = 26 лет назад
1 янв. 1965	СЕГОДНЯ	НУЛЕВОЙ МОМЕНТ

Рис. 2.

ко планет. Если бы мы могли еще лучше разглядеть одну из этих планет — Землю, то увидели бы, что около шести космических лет назад на ней развились примитивные формы жизни (микроскопические растения, подобные пленке на стоячей воде), которые оставили простейшие окаменелости в горных породах Земли. Если бы мы проследили историю ископаемых, то увидели бы, что жизнь на Земле становилась все более сложной. Около одного космического года назад мы увидели бы Землю населенной гигантскими ящерами, динозаврами. На прошлой (космической) неделе мы нашли бы саблезубого тигра. Вчера мы встретили бы мегатерия, гигантского ленивца, и, если бы он не был столь незаметным, первого человека. Весь вчерашний день и большую часть сегодняшнего человек оставался диким и только примерно четыре часа назад научился говорить. Около получаса назад он начал строить города. В космической шкале времени вся история цивилизации занимает менее часа.



II. ЗЕМЛЯ КАК ОБИТЕЛЬ ЖИЗНИ

В первой главе я попытался вкратце описать Вселенную, какой она представляется современным астрономам, и особо подчеркнул, что это *динамичная* Вселенная. Упор на динамическую природу Вселенной и внимание к происходящим в ней процессам характерны для зрелой науки, вышедшей из чисто описательного состояния. Наша цель теперь состоит в том, чтобы описать жизнь как процесс, происходящий в физической Вселенной.

Мы тотчас же сталкиваемся с трудностью: не существует общепринятых взглядов на то, какие свойства отличают живой объект от неживого. Различия между собакой и камнем вполне очевидны; но гораздо труднее провести разграничение между очень простым организмом, таким, как вирус, и сложным, но неживым кристаллом. Действительно, не существует полного согласия в том, относить ли вирус к живым организмам, так как живое, по-видимому, почти незаметно переходит в неживое. Проблема определения жизни еще будет рассмотрена, если не полностью разрешена, в последующих главах. Пока же, пользуясь словом «жизнь», мы будем подразумевать организмы, подобные в широком смысле высокоразвитым живым существам на Земле, организмы со сходными химическими свойствами, требующие сходных условий окружающей их среды. Помня об этом ограничении, мы мо-

жем спросить: «Какие свойства Земли как планеты солнечной системы существенны для поддержания жизни в том виде, в каком мы ее знаем?»

Солнечная энергия

Обзор физических и химических свойств жизни должен начинаться не с Земли, а с Солнца, точнее, с самого его центра. Именно здесь находится источник энергии, которую Солнце непрерывно излучает в пространство в виде света и тепла. Эта энергия высвобождается в недрах Солнца, где миллиарды миллиардов ядер атомов водорода сталкиваются друг с другом и соединяются, образуя ядра гелия. При этом выделяется энергия, заключенная в атомных ядрах. Количество отдаваемого Солнцем света и тепла соответствует превращению 600 миллионов тонн водорода в гелий в секунду. И этот процесс продолжается на Солнце в течение нескольких миллиардов лет.

Ядерная энергия выделяется в недрах Солнца в форме гамма-излучения — электромагнитного излучения, такого же, как свет и радиоволны, только гораздо более коротковолнового. Гамма-излучение поглощается атомами внутри Солнца и переизлучается с немного большей длиной волны. Это излучение в свою очередь поглощается и переизлучается. По мере того как излучение проникает сквозь различные слои солнечных недр, оно превращается в рентгеновское и в конечном счете становится светом. В этом состоянии энергия достигает так называемой поверхности Солнца и может излиться в космическое пространство, не поглощаясь далее атомами солнечного вещества. Очень небольшая доля солнечного света и тепла излучается в таких направлениях, что, пройдя беспрепятственно через межпланетное пространство, попадает на Землю.

Именно солнечный свет и тепло поддерживают на поверхности Земли температуру, пригодную для жизни.

2—5749

Действительно, температура поверхности планеты тесно связана с количеством солнечного излучения, падающего на каждый квадратный сантиметр поверхности. Солнечное излучение поглощается планетой и переизлучается в виде инфракрасных или тепловых лучей. Планета, следовательно, нагревается до такой температуры, при которой излучаемая ею в пространство энергия точно равна количеству солнечной энергии, поглощаемой планетой. Когда Солнце стоит над головой, энергия, падающая на единицу площади, больше, чем при наклонном падении лучей, и в тропиках в среднем жарче, чем на полюсах. Если планета всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной (как Меркурий), то между темной и освещенной сторонами возникнет большая разность температур. Если, наоборот, планета вращается быстро, это приведет к выравниванию температуры между дневной и ночной сторонами, так как почва излучает энергию не сразу же после ее поглощения, а с некоторым запозданием. И одним из наиболее важных факторов, влияющих на температуру планеты, является наличие или отсутствие атмосферы.

Свету нужно около восьми минут, чтобы пройти путь от Солнца до Земли. Ему нужно менее тысячной доли секунды, чтобы пройти сквозь земную атмосферу. Тем не менее за это короткое время он коренным образом меняется. Часть солнечного излучения полностью поглощается, и энергия уходит на нагревание атмосферы. Во всем спектре, от гамма-лучей до очень длинных радиоволн, есть только две области, для которых земная атмосфера прозрачна. Это «оптическое окно», охватывающее видимый свет и соседние длины волн, и «радиоокно», которое находится в радиоволновой части спектра (длины волн от нескольких миллиметров приблизительно до 100 метров).

Парниковый эффект

В нижниях слоях атмосферы часть излучения может быть отражена облаками назад в космическое пространство, и тем самым температура земной поверхности понизится. Но в облачный день не обязательно холодно, так как, кроме приходящего извне солнечного излучения, облака также отражают назад к Земле часть теплового излучения почвы, увеличивая тем самым температуру поверхности.



Рис. 3. *А* — излучение Солнца проходит через стекло теплицы, а переизлученная тепловая энергия удерживается. *В* — Земля и растительность поглощают энергию от Солнца и переизлучают ее.

Кроме того, с облаками или без них атмосфера Земли действует как теплица (рис. 3), в которой всегда тепло вследствие особых свойств стекла: оно прозрачно для видимого света, но непрозрачно для инфракрасного излучения и тепловых лучей. Солнечный свет проходит сквозь стекло и поглощается почвой и самим зданием теплицы. Затем он переизлучается в виде тепловых лучей, которые не могут пройти сквозь стекло. Количество энергии в теплице растет до тех пор, пока

температура не станет столь высокой, что небольшая доля тепловых лучей, проходящая все же через стекло, будет уносить с собой столько же энергии, сколько ее приходит с солнечным светом. Земная атмосфера задерживает энергию Солнца в меньшей степени, но аналогичным образом.

Главные составные части атмосферы, вызывающие «парниковый эффект», это водяной пар и углекислый газ, составляющие вместе только 1% всей атмосферы. Относительно небольшие изменения в составе атмосферы могут заметно влиять на температуру земной поверхности. В прошлые геологические эпохи в Гренландии была пышная растительность. Предполагается, что это было следствием повышенной активности вулканов, выбрасывавших в атмосферу углекислый газ, и температура земной поверхности увеличивалась вследствие усиления атмосферного «парникового эффекта». (Возможно, однако, что полюс Земли в прошлом не был вблизи Гренландии.) Сам человек может непроизвольно менять среднюю температуру Земли, выбрасывая в атмосферу углекислоту из заводских труб. Ежегодно таким путем в атмосферу добавляется около 10 миллиардов тонн углекислоты, около одной сотой полного содержания CO_2 в атмосфере. Углекислота накапливается, и, если развитие промышленности будет продолжаться современными темпами, не исключено, что через несколько столетий состав атмосферы изменится настолько, что растопятся полярные шапки Земли и большая часть суши (включая Лондон) будет затоплена морем!

Фотосинтез и кислород

Как мы видели, солнечная радиация, падая на землю, поглощается и затем неизбежно переизлучается с большей длиной волны. Однако, если солнечная радиация упадет на лист растения, она поглотится, но не переизлучится. Она накапливается в виде химической

энергии посредством процесса *фотосинтеза*[1]. Используя воду и углекислый газ (полученные из природной воды и воздуха) как сырье, с помощью солнечной энергии растение может вырабатывать сахар (типичное *органическое* вещество), выделяя при этом кислород. Реакция (сильно упрощенная) может быть представлена уравнением

$$6CO_2+6H_2O+\text{солнечная энергия}=C_6H_{12}O_6+6O_2.$$

Молекула сахара ($C_6H_{12}O_6$) содержит поглощенную солнечную энергию, скрытую в ней, так сказать, для дальнейшего использования, так же как часовая пружина может быть заведена для того, чтобы двигать стрелки. Растение может затем превращать сахар в белки и жиры, которые также содержат скрытую энергию.

Если растения под воздействием солнечного света могут создавать органическое вещество из неорганического, то животные (включая человека) этого не умеют. Они зависят в конечном счете от растительной жизни, так как питаются непосредственно растениями или мясом питающихся растениями животных. Если бы в результате внезапной эпидемии или изменения климата растительная жизнь на Земле была уничтожена, то животная жизнь вымерла бы за несколько недель. В этом смысле все животные — паразиты.

Таким образом, когда животное ест, оно фактически поглощает энергию, полученную от Солнца. В процессе жизнедеятельности она частично превращается в полезную работу. Главный же химический путь выделения энергии — это окисление, т. е. соединение с кислородом. Химически этот процесс — прямая противоположность фотосинтезу. Скорость, с которой химические реакции происходят в живых организмах, регулируется веществами, которые присутствуют только в очень малых количествах и сами не вступают в реакции. Эти веще-

[1] На фотосинтез тратится не более 5% энергии. Остальная поглощенная энергия идет на испарение воды из растения. — *Прим. перев.*

ства называются ферментами, и правильное функционирование и согласованность сложной химической деятельности живых организмов зависят от присутствия ферментов в определенных пропорциях.

Кислород, необходимый для окисления, животные получают прямо из воздуха или из воды, в которой растворен атмосферный кислород. Здесь мы встречаемся с другой, более тонкой формой зависимости животной жизни на Земле от растительной. Кислород легко соединяется с другими элементами. Кажется вероятным, что современное содержание кислорода в земной атмосфере не только поддерживается растительной жизнью на Земле (через фотосинтез), но и весь атмосферный кислород мог в прошлом произойти от жизнедеятельности растений. Жизнь на Земле вполне могла развиться и в бескислородной атмосфере.

Стоит напомнить, что почти вся энергия, имеющаяся на Земле, получена от Солнца. Рассмотрим, например, электричество, вырабатываемое гидроэлектростанциями. Энергия получается за счет падения воды с некоторой высоты на более низкий уровень. Но количество воды в высокогорных озерах поддерживается только благодаря испарению воды из морей. Испарившаяся вода собирается в облака, которые перемещаются над высокогорными озерами и изливаются в виде дождя. Паровоз использует уголь, а автомобиль — бензин, но и тот, и другой используют при этом скрытую солнечную энергию, так как и уголь, и бензин — это остатки некогда пышно процветавшей на Земле растительности, поглощавшей солнечные лучи. И даже энергия, выделяемая моими мышцами, когда я печатаю на машинке, берет свое начало из недр Солнца.

Температурные границы жизни

Температура поверхности планеты в основном определяется количеством падающей солнечной радиации, а температура — это один из важнейших факторов, который должен быть рассмотрен в связи с возможностью

существования жизни. Температура есть мера тепла в теле; теплота есть форма движения атомов и молекул, из которых тело построено. Из опытов над живыми организмами на Земле мы знаем, что пределы температур организма (которые в большей или меньшей степени могут отличаться от температуры окружающей среды), при которых возможна активная жизнь, простираются от нескольких градусов ниже точки замерзания воды примерно до 60° С. При более высоких температурах сложные молекулы, определяющие химизм жизни, начинают разрушаться, терять необходимую воду и препятствовать управляющему действию ферментов.

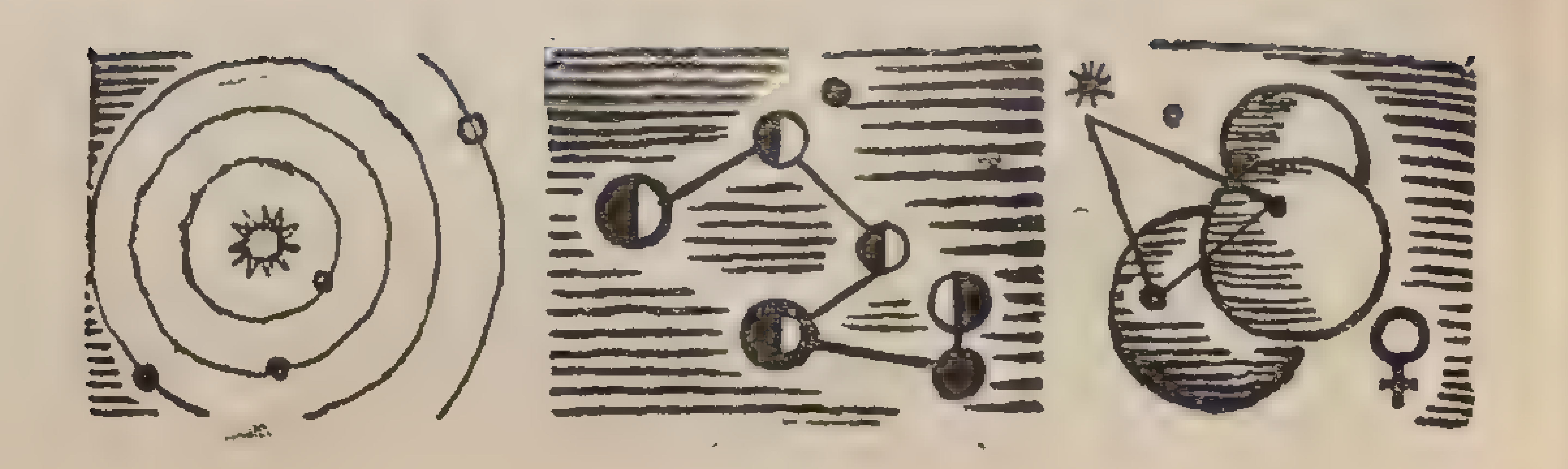
Нижний предел «активной жизни» менее определен. Если высокая температура необратимо разрушает живой организм, то чрезмерно низкая температура может привести организм в состояние замедленной жизнедеятельности, или скрытой жизни (анабиоз). Хотя все признаки жизни исчезают, организм может ожить, возвратившись к нормальной температуре. Деревья в Сибири переносят температуру до —60° С, а некоторые бактерии находятся в состоянии анабиоза в течение нескольких недель в жидком кислороде при температуре —180° С. По-видимому, не существует нижнего предела температур, при которых возможен анабиоз. Но диапазон температур, пригодный для активной жизни, очень узок, всего около 70° С (рис. 4). Это ничтожная величина по сравнению с пределами температур, известных в природе, — от нескольких миллиардов градусов в центрах звезд примерно до —250° С в межзвездном пространстве. По-видимому, если где-либо жизнь может существовать, то именно на планетах, так как поверхность звезд слишком горяча, а в межзвездном пространстве слишком холодно. Но при этом планета должна находиться на нужном расстоянии от звезды нужной светимости. Как мы увидим в следующей главе, только на Земле и в меньшей степени на Венере и Марсе существуют температурные условия, попадающие в известные нам границы активной жизни,



Рис. 4. Температура, при которой может существовать жизнь, составляет лишь узкую полоску в шкале температур Вселенной.

Обычные пределы изменений температуры с временами года на Земле, от —60° С до +60° С, хорошо совпадают с «границами активной жизни». Не подозрительно ли такое точное совпадение? Конечно, можно сказать, что если жизнь требует столь строго определенных условий для своего активного существования,

она будет появляться только там, где эти условия выполняются, даже если при этом жизнь становится исключительно редким явлением. Но более вероятно, что «границы активной жизни», найденные из наблюдений над земной жизнью, являются просто отражением того факта, что наиболее приспособленные к земным условиям формы жизни развились за счет других, менее приспособленных. На Земле найдены некоторые простые бактерии, которые могут жить в горячих источниках при температуре до 80° С и переносить в течение нескольких часов нагревание до 120° С. Возможно, в других условиях эти бактериальные формы могли бы служить началом для эволюции других неизвестных нам форм жизни, приспособленных к высоким температурам. Но это только предположение. Жизнь в том виде, в каком мы ее знаем на Земле, требует температуры, заключенной в узких пределах, атмосферы, содержащей кислород и углекислый газ, и наличия свободной воды. В следующей главе мы рассмотрим другие планеты солнечной системы с точки зрения выполнимости этих условий.



III. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Рассматривая свойства Земли как планеты солнечной системы, необходимые для поддержания жизни обитающих на ней существ, мы видели, что высшие формы жизни нуждаются в атмосфере, содержащей кислород, или же в воде, в которой кислород растворен. Для жизни растений кислород не является необходимым условием (ведь кислород в земной атмосфере мог возникнуть в результате деятельности самих растений на ранних этапах истории Земли), но для нее нужен свободный углекислый газ. Особым свойством растений является то, что они способны, поглощая солнечную энергию, запасать ее в виде химической энергии путем построения из углекислого газа и воды более крупных, тяжелых химических молекул.

Гораздо более важным условием для земной жизни является, по-видимому, соответствующая температура. Пределы температур, пригодных для активной жизни, очень узки, примерно от —10° С до +60° С. Верхний предел температур более важен, ибо если температура слишком высока, то сложные молекулы, от которых зависит химическая активность, начинают разрушаться. Нижний предел менее определен, так как жизнь при низких температурах может принимать скрытую форму. Хотя жизнь при низких температурах не активна, она не погибает, и если температура повышается, жизнь возрождается и вновь становится активной.

Измерение температуры планет

Помня об этих ограничениях, мы в этой главе взглянем на другие планеты солнечной системы в первую очередь с точки зрения температурных условий. Температура поверхности планеты зависит прежде всего от ее расстояния от Солнца — источника света и тепла. Если планета лишена атмосферы и поглощает все падающее на нее излучение, то легко вычислить температуру, которая установится на ее поверхности при заданном расстоянии от Солнца. Важно заметить, что температура зависит от свойств *планеты*; межпланетное пространство само по себе не может иметь «температуру», ее имеет только вещество. Если бы можно было создать в солнечной системе искусственную планету, сделанную из идеально полированного металла (чтобы он отражал все падающее на него излучение Солнца и ничего не поглощал), то внутри такой планеты было бы абсолютно холодно, как бы близко от Солнца она ни проходила.

Температура поверхности планеты может быть измерена, по крайней мере приближенно, при помощи очень чувствительного прибора, реагирующего на тепло. Таким чувствительным прибором является *термоэлемент* (рис. 5). Если сделать замкнутую цепь из двух кусков разной проволоки и места спаев держать при разных температурах, то по цепи потечет слабый электрический ток. Измеряя его, можно тем самым измерить разницу в температурах двух спаев.

Предположим теперь, что у нас есть такой термоэлемент и мы держим один спай при температуре замерзания воды, погрузив его в смесь воды и льда. Другой спай помещен в телескоп так, что на него падает изображение планеты. Термоэлемент поглощает энергию тепла и света, идущих от планеты, и нагревается. По величине слабого электрического тока мы можем судить, сколько энергии доходит до нас от планеты (с учетом поглощения в самом телескопе). Не вся эта энергия будет тепловым излучением планеты; часть ее — это излучение Солнца, отраженное от планеты. Но Солнце

излучает преимущественно видимый свет, тогда как тепловое излучение приходится на бóльшие длины волн в далекой инфракрасной части. Эти две составляющие можно разделить, если сначала измерить излучение планеты, проходящее через водяной фильтр, поставлен-

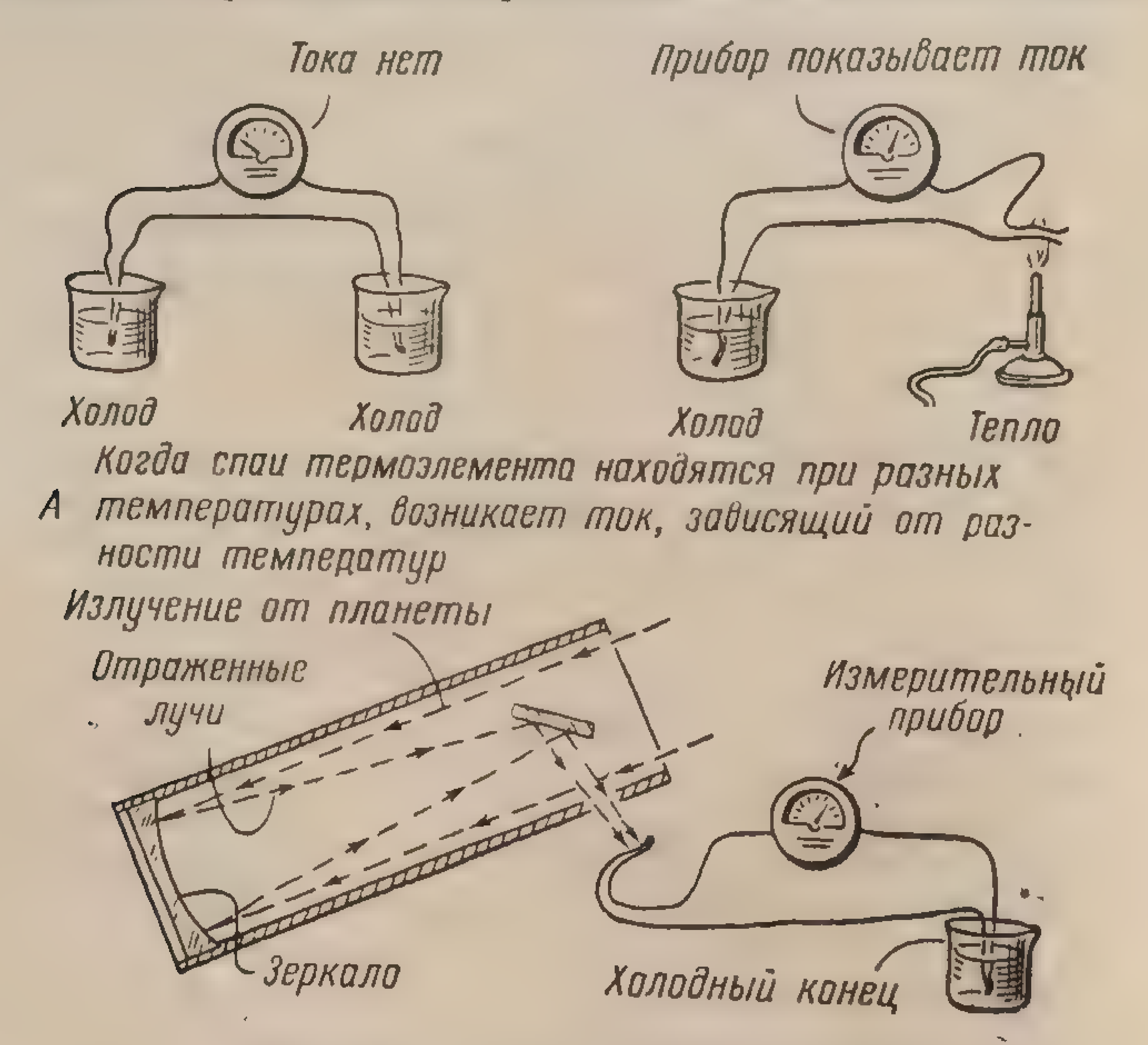


Рис. 5. Прибор для измерения температуры с термоэлементом (*A*) и его сочетание с телескопом (*B*).

ный перед термоэлементом, а затем провести измерения без фильтра. Водяной фильтр поглощает тепловые лучи, идущие от планеты, а видимый свет пропускает (точно так же как стекло в теплице, о которой говорилось в предыдущей главе). Вычитая энергию, измеренную с

водяным фильтром, из энергии, измеренной без него, мы найдем количество тепла, полученного от планеты, и отсюда сможем вычислить ее температуру.

Меркурий и Венера

Ближайшая к Солнцу планета, Меркурий, находится от него на расстоянии 58 миллионов километров. Если расстояние от Земли до Солнца (150 миллионов километров) принять за единицу расстояния (астрономическую единицу), то расстояние Меркурия от Солнца составит 0,4 астрономической единицы. Он всегда обращен к Солнцу одной стороной, и температура поверхности, вычисленная для освещенной Солнцем стороны, равна примерно 360° С. Это близко к измеренному значению. Темная сторона Меркурия столь холодна, что нельзя обнаружить ее излучения.

Согласие между вычисленной и наблюденной температурами показывает, что у Меркурия нет заметной атмосферы. Впрочем, нет никаких оснований ожидать, что она есть. Газ состоит из большого числа молекул, которые при нагревании движутся все быстрее и быстрее, сталкиваясь друг с другом. Когда температура достаточно высока, много молекул достигает скоростей больших, чем скорость ускользания с планеты. Тогда они улетают в межпланетное пространство, точно так же как ракета, превысившая скорость ускользания с земной поверхности, становится искусственной планетой. У Меркурия температура поверхности столь высока, что, если у него и была какая-то атмосфера, она давно должна была испариться в пространство. Оставшаяся атмосфера должна быть очень разреженной по сравнению с земной. При температуре, много превышающей верхний предел активной жизни, и без заметной атмосферы Меркурий кажется чрезвычайно неподходящим пристанищем для жизни, сходной с той, которую мы знаем на Земле (рис. 6).

На Венере, расположенной примерно в $^3/_4$ астрономической единицы от Солнца, мы должны были бы ожидать температуру около 190° С. Наблюдения дают

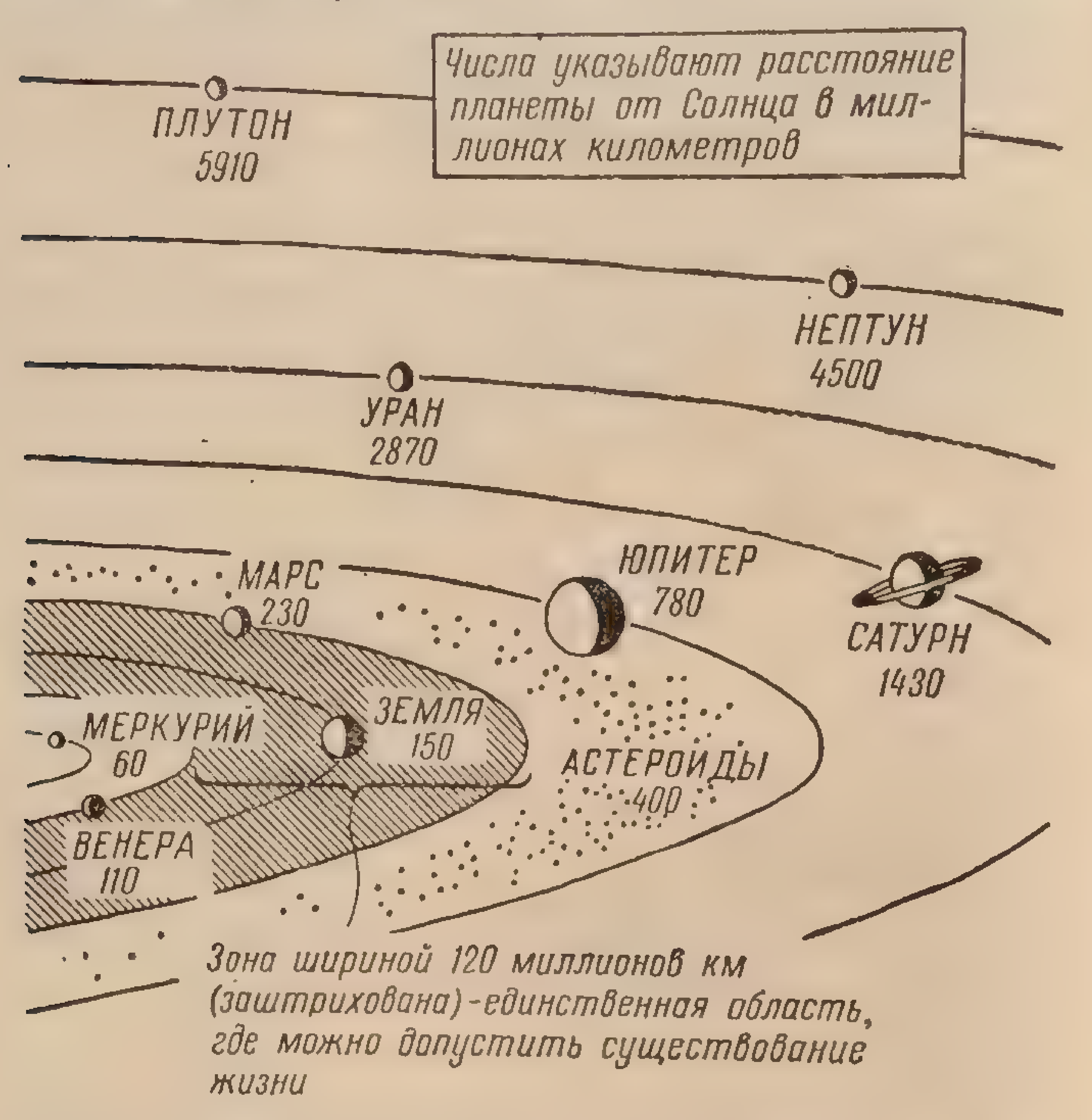


Рис. 6. Жизнь в известном нам виде возможна только в небольшой области солнечной системы.

совершенно другую величину — около —40° С. Это происходит вследствие того, что Венера окутана протяженной облачной атмосферой. Эти облака отражают почти весь солнечный свет и тепло, мало оставляя на нагревание планеты. Но те же облака задерживают тепловое излучение планеты, так что истинная температура поверхности Венеры может быть много выше наблюденной. Наблюдаем же мы температуру атмосферы Венеры

выше облачного слоя. Толстый облачный слой не позволяет нам ничего узнать об условиях на поверхности Венеры — мы даже не знаем, как быстро вращается Венера, так как не можем увидеть на ней никаких фиксированных деталей поверхности.

Трудно также установить, из чего состоят облака Венеры. Они кажутся очень белыми, так как отражают бóльшую часть солнечного излучения; в основном по этой причине Венера является самым ярким объектом на ночном небе. Метод, используемый для установления химического состава атмосферы планеты, состоит в тщательном изучении ее спектра. Если мы пропустим солнечный свет через призму, то увидим цветную радужную полоску, в которой отдельные участки ослаблены или отсутствуют. Обычно мы предварительно пропускаем свет через щель, и отсутствующие участки проявляются в виде темных линий в солнечном спектре. Существует много десятков тысяч таких линий, и появление тех или иных линий зависит от химического состава и физических условий, в которых находятся атомы во внешних слоях Солнца. Если планета просто отражает свет Солнца, ее спектр будет точной, хотя и ослабленной копией солнечного спектра. Но, если у планеты есть атмосфера, солнечный свет, прежде чем дойти до нас, должен дважды пройти сквозь нее. Мы можем надеяться заметить появление в спектре планеты новых темных линий, которых *не было* в солнечном спектре, — линий, образованных атомами планетной атмосферы.

Была сделана попытка найти такие линии в спектре Венеры. Но результаты поисков были неопределенны. В частности, характерная группа линий, вызываемая водяным паром, отсутствует в спектре Венеры. (Такие наблюдения трудны, так как наша собственная атмосфера содержит водяной пар, который образует темные теллурические линии и в солнечном, и в планетном спектрах.) Одно время предполагалось, что эти отрицательные результаты исключают возможность того, что облака состоят из обычных водяных паров. Было высказано много предположений об их химическом составе;

предполагались твердый углекислый газ и формальдегид — соединение углерода, кислорода и водорода. Но если температура на уровне облаков около —40° С, то облака могут все же состоять из воды, но в вымерзшем состоянии. Если это так, то на поверхности Венеры вода может существовать в свободном жидком состоянии и условия на Венере вполне могут быть пригодны для развития жизни. Но это только предположение. Облака Венеры хорошо скрывают секреты ее поверхности, и Венера по-прежнему остается загадкой [1].

Луна

Естественный спутник Земли Луна должна иметь среднюю температуру почти такую же, как Земля. Но масса Луны составляет всего около 1/80 массы Земли, и скорость ускользания с ее поверхности много меньше, чем у Земли. Если Земля способна удерживать атмосферу в течение космических периодов времени, то Луна этого сделать не может. На Луне нет воздуха, и, следовательно, на ее поверхности нет свободной воды. Кроме того, вследствие приливного воздействия Земли на твердое тело Луны в течение миллиардов лет Луна

[1] Хотя Венера и по сей день загадка для ученых, но исследования, проведенные после написания книги, дали много нового. Наблюдения с радиотелескопом показали, что температура поверхности Венеры около 300° С! Многие астрономы, однако, считают, что эта высокая температура относится не к поверхности, а к ионосфере — области атмосферы, где у большинства атомов часть электронов оторвана. На Венеру был послан луч радиолокатора и получено его отражение. Оказалось, что поверхность ее твердая, скалистая и вращается Венера очень медленно, оставаясь всегда обращенной к Солнцу одной стороной, как Меркурий. С такой скоростью вращения, однако, пока не все согласны. Прояснился немного состав атмосферы. Что в нем очень много углекислого газа, было известно давно, а совсем недавно было показано, что в атмосфере Венеры есть кислород и вода. Это уже гораздо более приятная перспектива для жизни. Если действительно верно, что кислород в атмосфере образуется при жизнедеятельности растений, то не значит ли это, что на Венере имеются какие-то формы жизни? — *Прим. перев.*

всегда обращена одной стороной к Земле (если не считать небольшого покачивания, называемого *либрацией*). Лунные сутки, следовательно, равны земному месяцу.

На освещенной стороне Луны в середине лунного дня температура поверхности может превышать точку кипения воды (100° С). При заходе Солнца на Луне

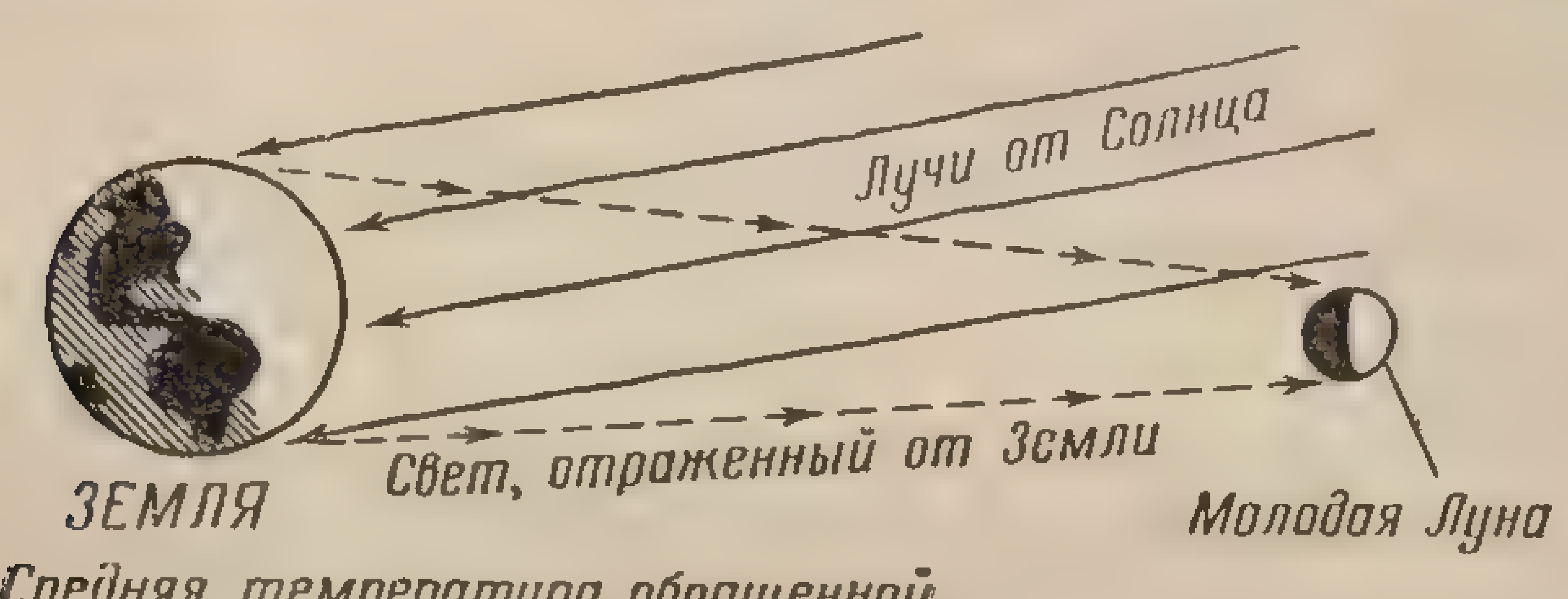






Рис. 7. Наша Луна — весьма негостеприимная планета, как показывает температура ее обращенной к Земле стороны. Вспомните, что вода кипит при 100° С!

температура падает до —50° С, а в лунную полночь — до —150° С (рис. 7). Лишь шагнув с освещенного Солнцем места в тень кратера или горы, мы испытали бы падение температуры более чем на 100° С. Несомненно, Луна не место для развития активной жизни. Возможно, однако, что у простых организмов во время холодной лунной ночи и жаркого лунного дня жизнь сохраняется в скрытой форме, а дважды в месяц она становится на короткое время активной (на заходе и восходе Солнца). Возможно, недалек день, когда на Луну будут посланы приборы, чтобы наряду с прочим

установить, имеется ли на ней примитивная жизнь. Поэтому должны быть приняты серьезные меры предосторожности по стерилизации лунных зондов, так как не должно быть опасности переноса простейших форм жизни с Земли на Луну и загрязнения ее до того, как будут проведены эти интереснейшие исследования.

Марс, Юпитер и более далекие планеты

Следующая за Землей планета Марс расположена в 1,5 астрономических единицах от Солнца. У Марса есть небольшая атмосфера, и его температура (в самых теплых частях) может подниматься выше точки замерзания воды. На Марсе вероятнее всего найти иные формы жизни. Более того, наблюдения Марса дают некоторые основания полагать, что на нем действительно существует некое подобие жизни. Поэтому следующую главу я посвящу специально Марсу.

За Марсом на расстоянии от Солнца, в пять раз большем, чем Земля, мы встретим гигантскую планету Юпитер. Температура ее поверхности около —130° С, и она окутана мощной атмосферой из аммиака и метана — газов чрезвычайно ядовитых для земноподобных форм жизни. Продвигаясь дальше от Солнца, мы встретим другие большие планеты: Сатурн, Уран и Нептун; они еще холоднее, чем Юпитер, и все имеют толстые атмосферы, по составу близкие к атмосфере Юпитера (рис. 8). Некоторые спутники Сатурна также имеют атмосферы, состоящие из тех же ядовитых газов. Самая удаленная планета, Плутон, примерно в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля, и совершает один оборот вокруг Солнца за 248 лет. Солнце так далеко от Плутона, что температура поверхности планеты едва превышает —200° С. Какую бы атмосферу ни имел Плутон, она должна находиться у его поверхности в замерзшем состоянии. Между планетами существуют мириады маленьких метеорных частиц. Некоторые из них могут влетать в земную атмосферу и сгорать в ней

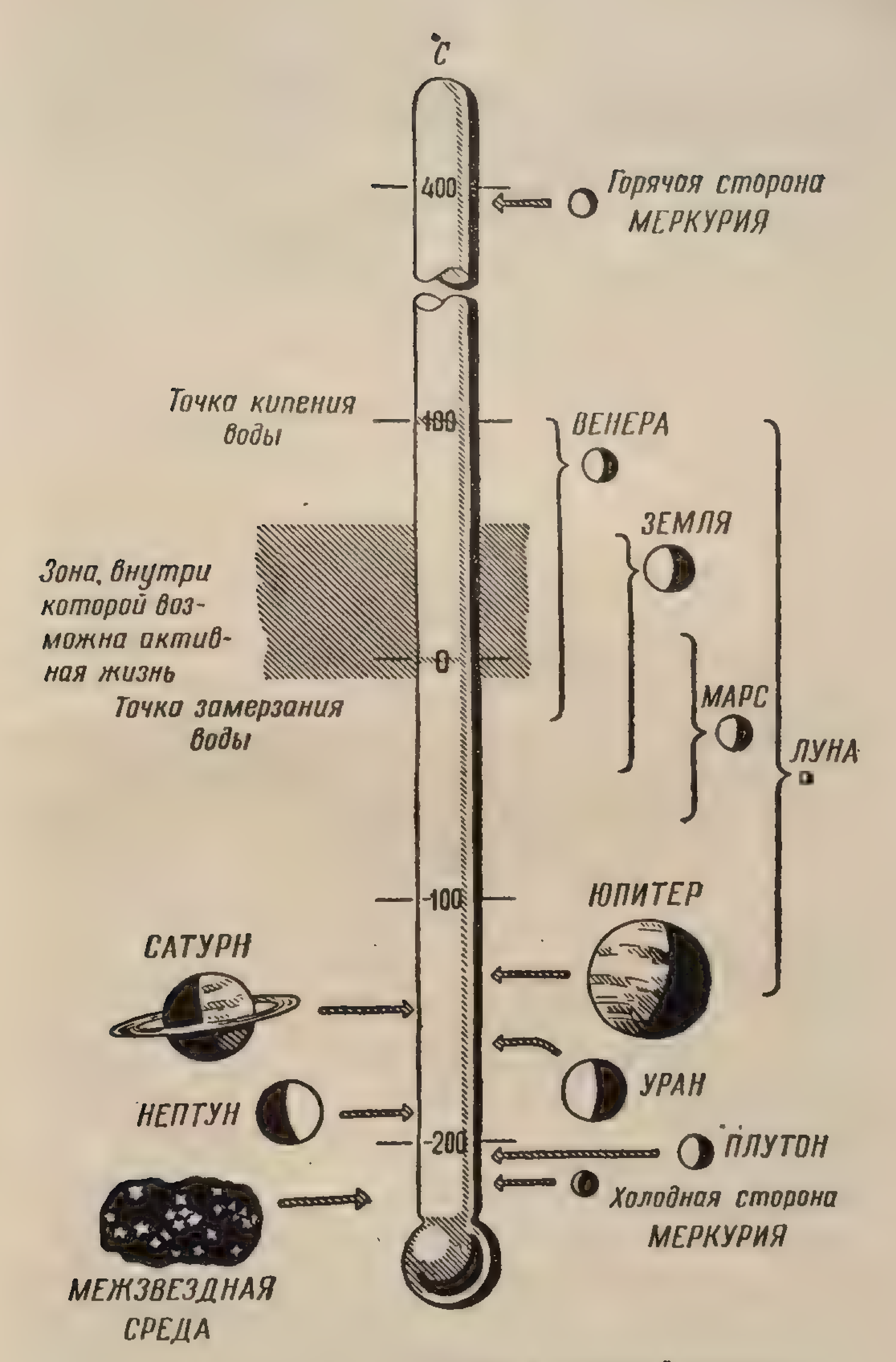
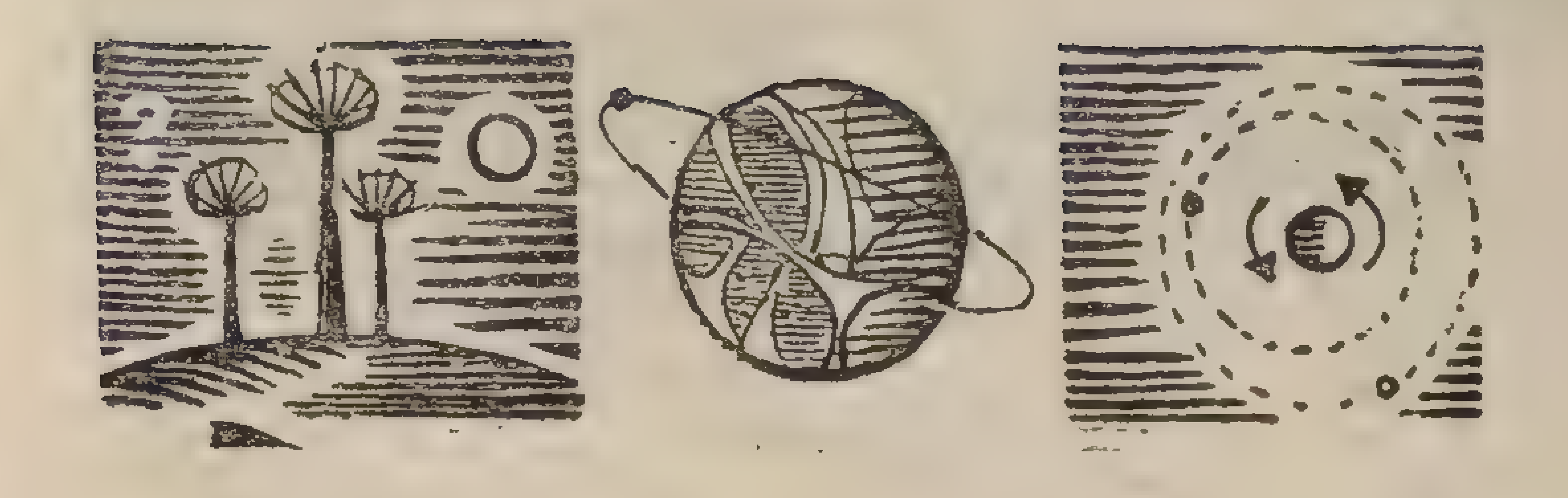


Рис. 8. Шкала температур в солнечной системе.

в виде «падающих звезд». Если метеорное тело достаточно велико, оно может не полностью сгореть в атмосфере Земли и выпасть в виде метеорита. К счастью, бо́льшая часть метеоритов — небольшие камешки, но изредка снаряды из космоса могут весить несколько тысяч тонн. Такие метеориты при падении опустошают много квадратных километров и образуют большой кратер. На земной поверхности обнаружено несколько таких метеоритных кратеров.

Тело, превышающее по диаметру полкилометра, должно быть заметно в космическом пространстве благодаря отраженному им солнечному свету. Это — малая планета, астероид. Известны орбиты более 2000 таких астероидов диаметром порядка 700 километров и меньше. Они концентрируются между орбитами Марса и Юпитера. На многих таких малых планетах температурные условия могут быть подходящими для активной жизни. Ни одна из них не имеет достаточных размеров, чтобы удержать атмосферу или свободную воду, но не кажется невозможным, что если в «почве» астероида есть необходимые химические элементы, то могут возникнуть какие-то формы жизни, использующие их. Если считать, что активная жизнь возможна лишь в тех пределах температур, при которых активна земная жизнь, то мы можем ожидать найти ее внутри солнечной системы лишь в очень узкой зоне — не слишком близко и не слишком далеко от Солнца. Действительно, при расстоянии 5900 миллионов километров, отделяющем Плутон от Солнца, активная жизнь ограничена полосой шириной всего 120 миллионов километров (см. рис. 6). Только Земля, Марс и Венера вместе с несколькими астероидами попадают в эту полосу. Поистине при такой картине Вселенной кажется, что жизнь очень неустойчиво балансирует на натянутой проволоке.



IV. ПЛАНЕТА МАРС

В поисках свидетельств в пользу существования жизни в солнечной системе вне Земли мы должны обратить взгляд на Марс. Ограниченные пределы температур, пригодных для активной жизни, сужают интервал расстояний, на которых она может существовать, до полосы шириной 120 миллионов километров. Внутри этой зоны лежат Венера, Земля и Марс, но Венера, как мы видели, покрыта плотным облачным слоем, и условия на ее поверхности почти совсем неизвестны.

Вследствие большого расстояния от Солнца поверхность Марса в среднем холоднее, чем у Земли. Средняя температура планеты в целом —30° С по сравнению с +15° С на Земле. Но температура поверхности Марса может подниматься выше точки замерзания воды. У полюсов Марса в течение соответствующего летнего сезона на планете температура может подниматься до +20° С, но зимой падает до —90° С. Экваториальная зона Марса испытывает значительно меньшие колебания температуры в течение марсианского года, хотя и здесь температура может подниматься летом на несколько градусов выше точки замерзания воды. Помня, что при температуре ниже границы интервала активной жизни жизнь может принимать скрытую форму, мы можем ожидать, что какие-то живые организмы на Марсе (не имеющие внутренней температурной

регулировки, такой, как у земных теплокровных животных) должны проводить бóльшую часть жизни именно в таком состоянии, становясь активными и размножаясь только в короткие периоды, когда температура достаточно высока.

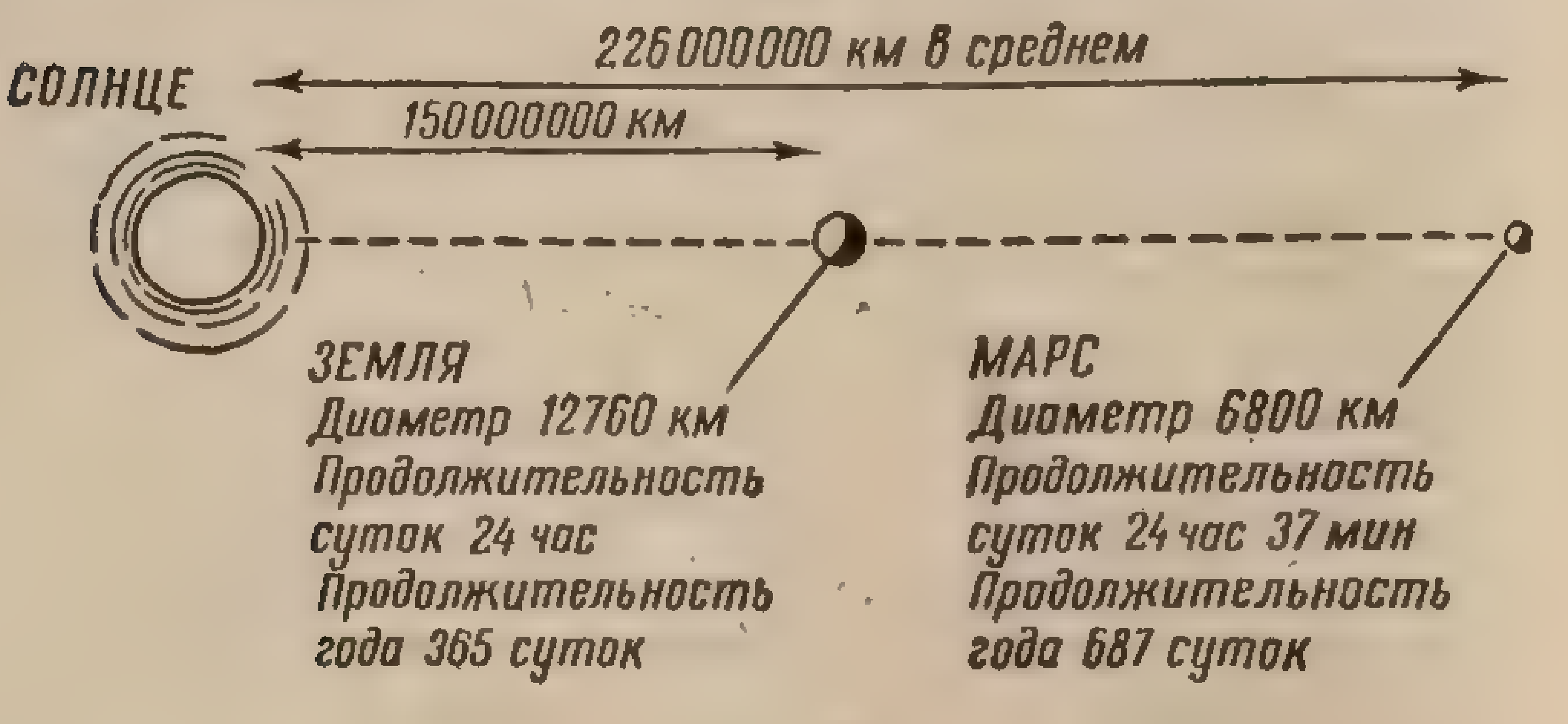


Рис. 9.

Марс делает один оборот вокруг Солнца примерно за 700 земных дней и вращается вокруг своей оси с периодом около $24^1/_2$ часа (рис. 9). Амплитуда колебаний температуры в течение марсианского дня теоретически почти такая же, как и на земном экваторе, около 40° С. Эта величина действительно достигается в пустынных областях близ земного экватора, но в большинстве мест суточные колебания много меньше из-за влияния атмосферы Земли. Атмосфера Марса гораздо тоньше, и суточные колебания температуры здесь почти достигают максимальной амплитуды.

Атмосфера Марса

То, что у Марса есть атмосфера, легко увидеть, сравнивая фотографии Марса, снятые в красных и синих лучах. Фотографии в красном свете показывают много более или менее постоянных темных пятен. Фотографии в синем свете, снятые в то же самое время, показывают (обычно) очень мало пятен. Это различие

вызвано тем, что марсианская атмосфера рассеивает синие лучи в солнечном свете, тогда как красные доходят до поверхности, не рассеиваясь. Фотографии Земли, снятые с Марса, должны показать ту же картину.

Хотя различный вид фотографий Марса в красных и синих лучах и указывает на наличие атмосферы, нельзя сразу сказать, вызывается ли рассеяние света газами атмосферы или взвешенными в ней частичками. Однако время от времени пятна на поверхности планеты получаются и на снимках, снятых в синих лучах. Это редкое явление называется «прояснением». Оно еще не вполне понятно, но доказывает, что большая часть света рассеивается на частичках, взвешенных в атмосфере Марса, так как невозможно, чтобы на краткое время атмосфера полностью исчезала. Но что это за частицы и что вызывает временами их исчезновение — пока еще тайна.

Спектр Марса тщательно исследовался с целью выяснения химического состава марсианской атмосферы. Как говорилось ранее, если у планеты нет атмосферы, ее спектр будет ослабленной копией солнечного, так как планета светит отраженным светом. Когда свет от Солнца проходит через атмосферу планеты, атомы и молекулы атмосферы создают поглощение, которое выдает их присутствие. К сожалению, прежде чем достичь наших телескопов, солнечный свет проходит также и через атмосферу Земли, и она вызывает свои собственные линии поглощения, гораздо более сильные, чем образующиеся в атмосфере другой планеты. Поэтому в атмосфере планеты трудно обнаружить те газы, которые присутствуют также и в земной атмосфере. В спектре Марса усиленно искали доказательства наличия водяного пара, но результаты получились неопределенными, так как водяной пар в земной атмосфере вызывает очень сильное поглощение [1]. Другая трудность состоит

[1] Недавно, наконец, удалось обнаружить в атмосфере Марса водяной пар. Правда, его очень мало: если превратить его в воду, то она покроет планету слоем всего 0,001 миллиметра. — *Прим. перев.*

в том, что многие ожидаемые газы, например азот, образуют линии поглощения в ультрафиолетовой части спектра, которая полностью обрезается земной атмосферой. Возможно, в недалеком будущем можно будет наблюдать спектр Марса с телескопом, расположенным на спутнике выше атмосферы Земли, и эти трудности исчезнут.

Однако исследования марсианского спектра не были безрезультатными. В атмосфере Марса был обнаружен углекислый газ. Полное количество CO_2 в марсианской атмосфере почти такое же, как в земной, но, так как марсианская атмосфера много тоньше, это соответствует более высокому процентному содержанию CO_2 — 0,2% по сравнению с 0,03% для Земли. По-видимому, атмосфера Марса состоит главным образом из азота. Кислород не обнаружен уверенно, и возможное количество его не превышает 0,1% всей атмосферы.

Полная масса атмосферы Марса менее $^1/_5$ земной, а давление на поверхности планеты менее $^1/_{10}$ давления у поверхности Земли[1]. Но вследствие меньшей силы тяжести на Марсе плотность атмосферы падает с высотой не так быстро, как на Земле. На высотах свыше 30 километров атмосфера Марса более плотная, чем земная на тех же высотах. А так как метеоры в земной атмосфере сгорают на высоте около 100 километров, то более тонкая марсианская атмосфера является даже лучшей защитой от метеорной бомбардировки.

Ржавая пустыня

Первое, что бросается в глаза при наблюдении за Марсом в телескоп, — это общий оранжево-красный цвет его поверхности. Красный цвет планеты легко заметить и невооруженным глазом. Области, имеющие

[1] По последним данным, и того меньше — около $^1/_{40}$. — *Прим. перев.*

красный цвет, называются «пустынями», но не надо думать, что пустыни Марса такие же, как на Земле. Была проделана большая работа по изучению спектра марсианских пустынь. Имеются доказательства присутствия силикатов — химических соединений, сходных с песком. Но главной составляющей частью, вероятно, является вещество, сходное с лимонитом — земным минералом, содержащим много красной окиси железа. Так как в атмосфере планеты нет кислорода, то возможно, что кислород, который находился в ней раньше, пошел на окисление поверхности. Может быть Марс—это *ржавая* планета!

При попытке суммировать условия на Марсе мы должны уподобить их условиям в земных пустынях, перемещенных ближе к полюсу и поднятых в стратосферу. Если очень примитивные земные формы жизни, такие, как бактерии, например, могут выжить на Марсе, то высокоорганизованные формы земной жизни, несомненно, не могут существовать там без искусственного вмешательства. Но по сравнению с другими частями Вселенной условия на Марсе очень близки к земным.

Наиболее заметные в телескоп образования на поверхности Марса — это белые полярные шапки. Эти шапки велики зимой (марсианской) и сокращаются и исчезают летом (лето в одном полушарии бывает в то же время, что зима — в другом). Они, почти несомненно, состоят из воды, но на этом сходство с земными снежными полярными шапками кончается, так как марсианские полярные шапки немногим толще легкого слоя инея.

Сине-зеленые пятна

При более тщательном изучении Марса в телескоп обнаруживается большое число темных сине-зеленых пятен неправильной формы (рис. 10). Они занимают более или менее постоянное положение (составлены карты Марса и разным объектам присвоены имена), но

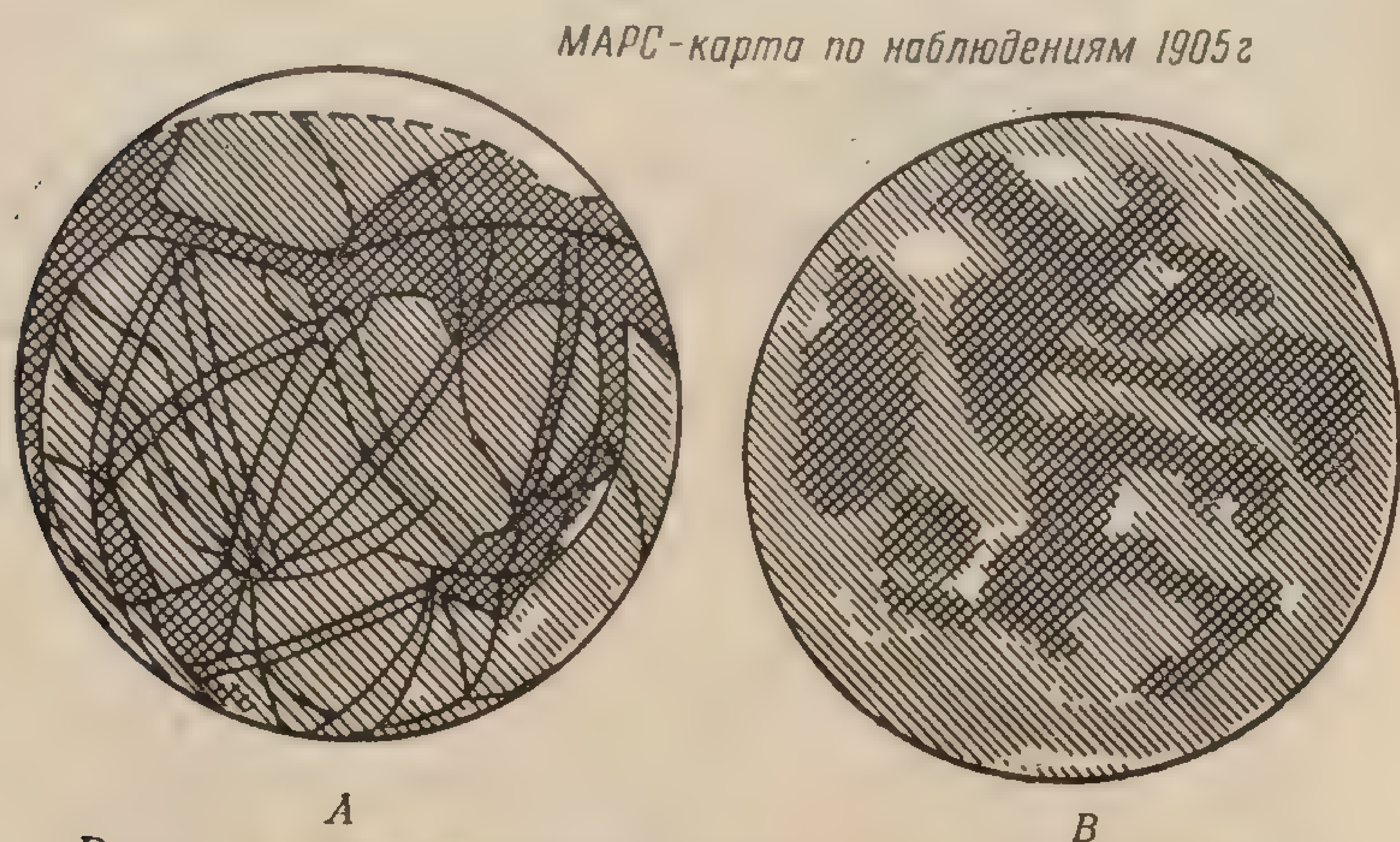


Рис. 10. «Каналы» Марса, которые одни астрономы видят, а другие — нет (*A*); различная окраска областей (*B*).

не вполне постоянны по форме и виду. В частности, они меняют цвет при смене сезонов на Марсе одновременно с таянием полярных шапок. Было высказано много гипотез для объяснения этих пятен: например, что они состоят из минералов, меняющих свой цвет, когда до них доходит влага из полярных шапок. Недавно было высказано предположение, что, поскольку общий рисунок пятен, по-видимому, следует линиям предполагаемых господствующих ветров на Марсе, пятна могут состоять из вулканического пепла (хотя никаких вулканов никогда не наблюдалось). С моей точки зрения, все разнообразие наблюдений этих пятен лучше всего объясняется гипотезой, что это — растительность, расцветающая за короткое марсианское лето.

Один из наиболее сильных аргументов в пользу такой гипотезы — это то, что, хотя мы часто наблюдаем в атмосфере Марса пылевые бури, они не засыпали полностью темные пятна. Пятна, по-видимому, обладают способностью *возрождаться*. Советский астроном Тихов

провел много интересных сравнений спектра темных областей Марса со спектрами земной растительности, обитающей на разных высотах на Памире. Он нашел, что у подножий, где климат умеренный, растения отражают много солнечного света в инфракрасной области. Однако выше, где растениям нужно много тепла, они начинают поглощать инфракрасные лучи. Чем больше высота, тем больше поглощение инфракрасных лучей. Спектр пятен на Марсе очень похож на спектр земной растительности, обитающей на больших высотах[1].

Чтобы расти и развиваться, растению нужно гораздо больше кислорода, чем есть на Марсе. Но растения могут преодолеть эту трудность. Они могут образовывать кислород на свету при помощи фотосинтеза, и нет причин, из-за которых растение не могло бы удерживать этот кислород, создавая «внутреннюю атмосферу» с бóльшим содержанием этого газа. Такую же атмосферу образуют листья некоторых земных растений и, кстати, человеческие легкие. Состав атмосферы внутри наших легких сильно отличается от состава внешней атмосферы.

Были сделаны попытки обнаружить в спектре темных областей Марса характерные линии поглощения хлорофилла. Этот решающий эксперимент пока не увенчался успехом, но неудача не исключает возможности существования растительности, так как некоторые растения на Земле, особенно в суровом климате, не показывают в спектре таких линий[2]. Но, хотя спектр

---

[1] Роль замечательного советского ученого Г. А. Тихова в изучении жизни на Марсе этим не ограничивается. Он провел многочисленные исследования спектров растительности в самых разных условиях: в горах, пустынях, за полярным кругом. В результате этих исследований он сформулировал важный закон: спектр растительности определяется условиями внешней среды. Г. А. Тихов по праву считается основоположником новой науки — астробиологии. — *Прим. перев.*

[2] В спектре Марса и не должно быть хлорофилла. У земных растений хлорофилл появился потому, что он поглощает красные лучи, а их-то больше всего и пропускает атмосфера Земли. Атмо-

хлорофилла не был обнаружен, другие линии, *найденные* в спектрах земных растений и, по-видимому, характерные для молекул живого вещества, были обнаружены и на Марсе. Этих линий *нет* в спектре марсианских пустынь. Если мы примем, что самое удовлетворительное объяснение темных пятен на Марсе — это растительность, мы можем сделать предположения о ее природе (рис. 11). Самые закаленные растения на Земле —

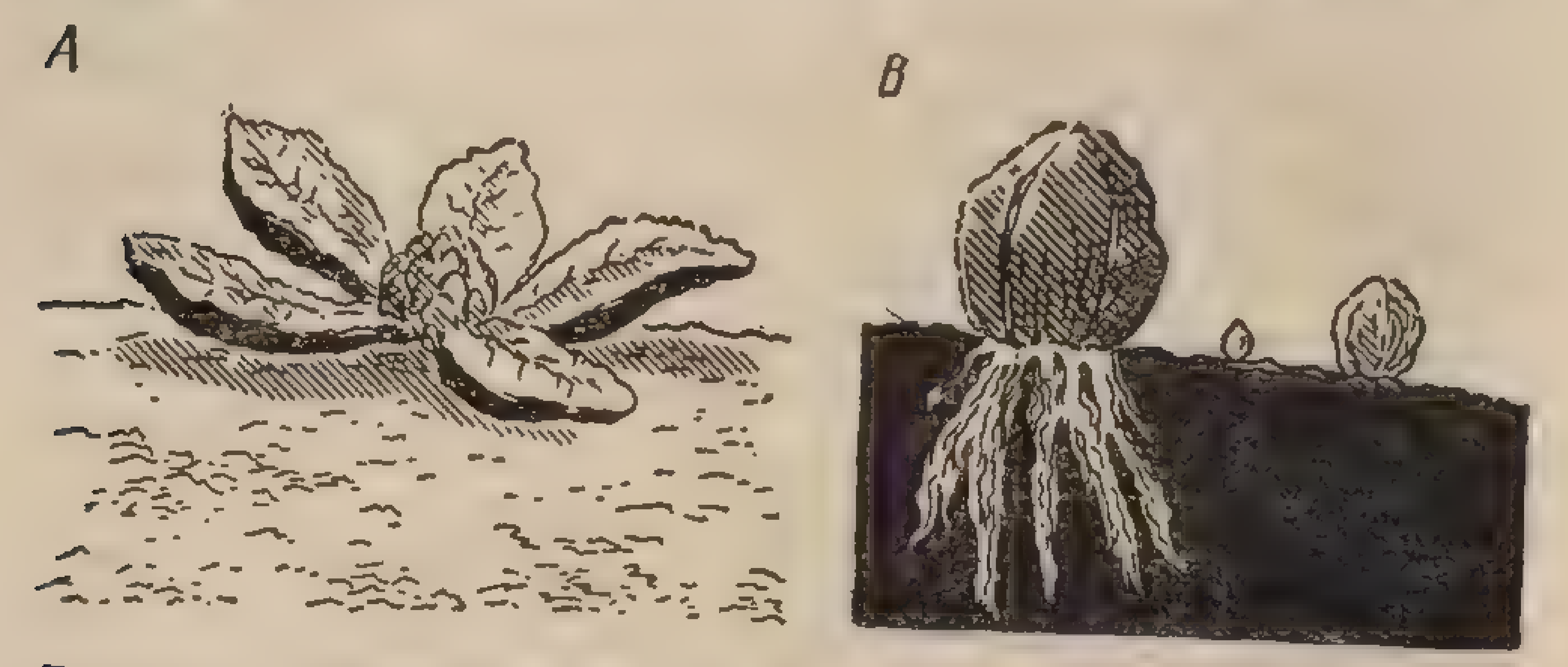


Рис. 11. Растительность на Марсе, если она существует, должна днем открывать листья Солнцу и запасать воду, а ночью закрыть листья для защиты от холода.

это лишайники, состоящие из грибов в тесной связи с водорослями. Гриб обеспечивает защиту от холода и служит ловушкой для влаги. Водоросль создает необходимое органическое вещество и с помощью фотосинтеза поставляет кислород [1]. Тот факт, что общий рису-

сфера Марса другая, и до поверхности доходит больше всего синих лучей. Поэтому хлорофилл на Марсе невыгоден для растений. Они должны сильно поглощать синие лучи, а отражать красные и потому иметь красноватый цвет. Именно так дело обстоит в темных областях Марса. А сине-зелеными для глаза они кажутся лишь по контрасту с более яркими и еще более красными пустынями. — *Прим. перев.*

[1] Лишайник — это типичное земное растение, и нет никаких оснований считать, что на Марсе обитает его точная копия. Растения Марса эволюционировали в течение миллиардов лет. В конце концов даже очень сложные организмы, гораздо сложнее лишайника, могли приспособиться к условиям среды, которые нам кажутся суровыми. Для них суровыми будут наши земные условия, к которым они не привыкли. — *Прим. перев.*

нок пятен следует предполагаемым направлениям господствующих ветров, можно объяснить тем, что растения распространяются спорами или семенами.

Если примитивная жизнь появилась на планете, мы не можем поставить предела сложности, которую жизнь может приобрести в процессе эволюции. Развилась ли на Марсе разумная жизнь? На этот вопрос сейчас мы не можем ответить. Если бы мы перенесли наш крупнейший телескоп на Марс и посмотрели на Землю, то самый маленький отдельный объект, который мы могли бы увидеть, имел бы около 150 километров в диаметре. Ничто из того, что мы увидели бы, не свидетельствовало бы о том, что на Земле есть разумная жизнь[1].

Загадки Марса: „каналы" и Фобос

В начале нашего века было много споров о так называемых «каналах» Марса (см. рис. 10). Некоторые искусные наблюдатели заметили, что поверхность Марса покрыта сетью тонких прямых линий. Если такая сеть действительно существует, трудно думать, что она может быть вызвана естественными процессами, и предположение, что это полосы растительности вдоль берегов искусственных каналов, не было бы неразумным. К сожалению, другие не менее опытные наблюдатели вообще не видели этих прямых линий, и хорошо известно, что человеческий глаз стремится связать в прямые линии ряды случайных пятен, находящихся на пределе видимости. Фотография не может решить эту проблему, так как неспокойствие земной атмосферы влияет на изображение планеты и не дает возможности сфотографировать столь тонкие детали, которые может увидеть тренированный наблюдатель. Поскольку некоторые

---

[1] Это не совсем так. С Марса были бы видны обрабатываемые поля, которые меняли бы окраску при сборе урожая, появление орошаемых земель в пустынях и т. д. — *Прим. перев.*

крупнейшие «каналы» видны на фотографиях, существование таких широких объектов не вызывает сомнений. Но реальность сети тонких линий остается предметом спора.

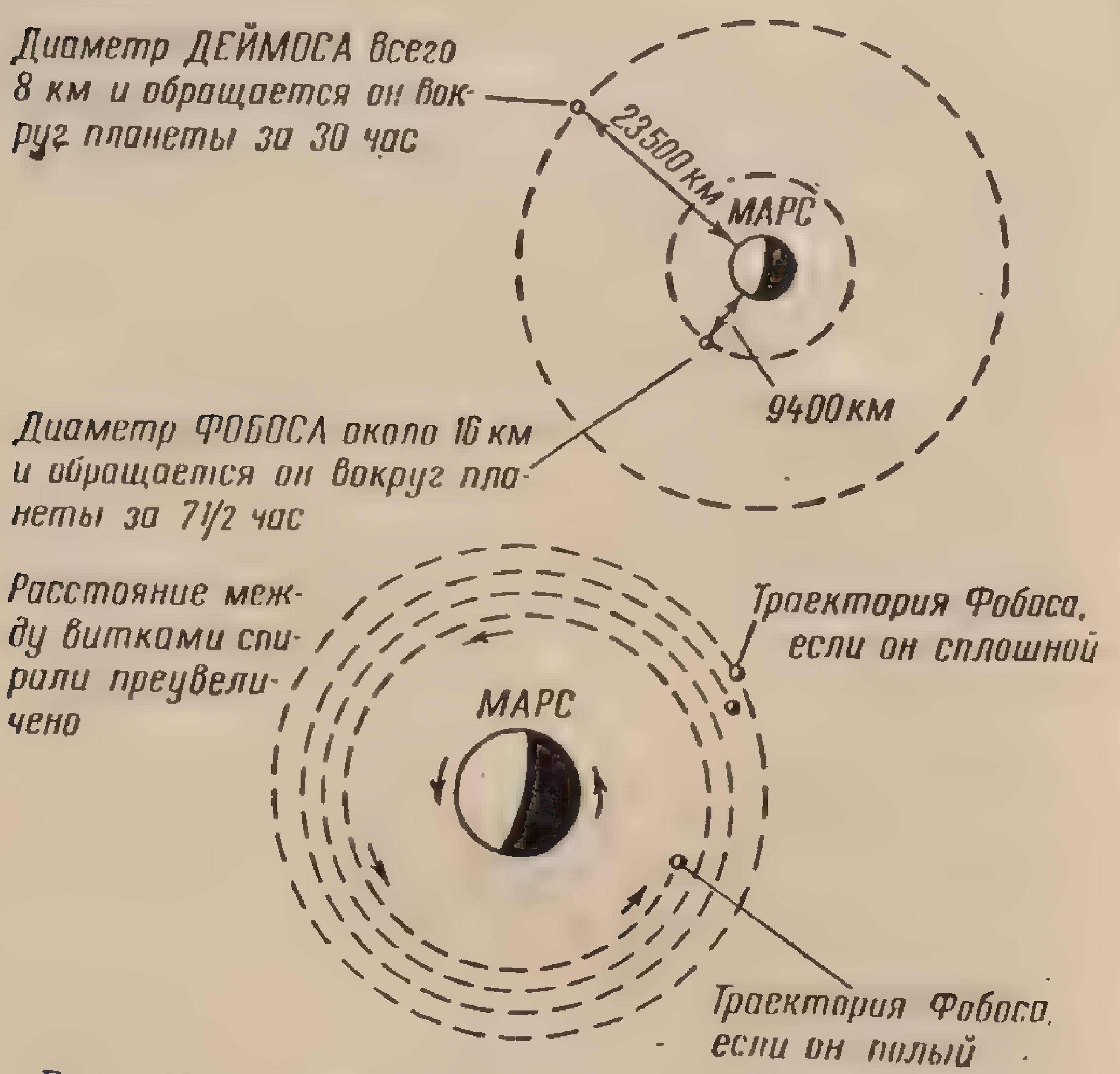
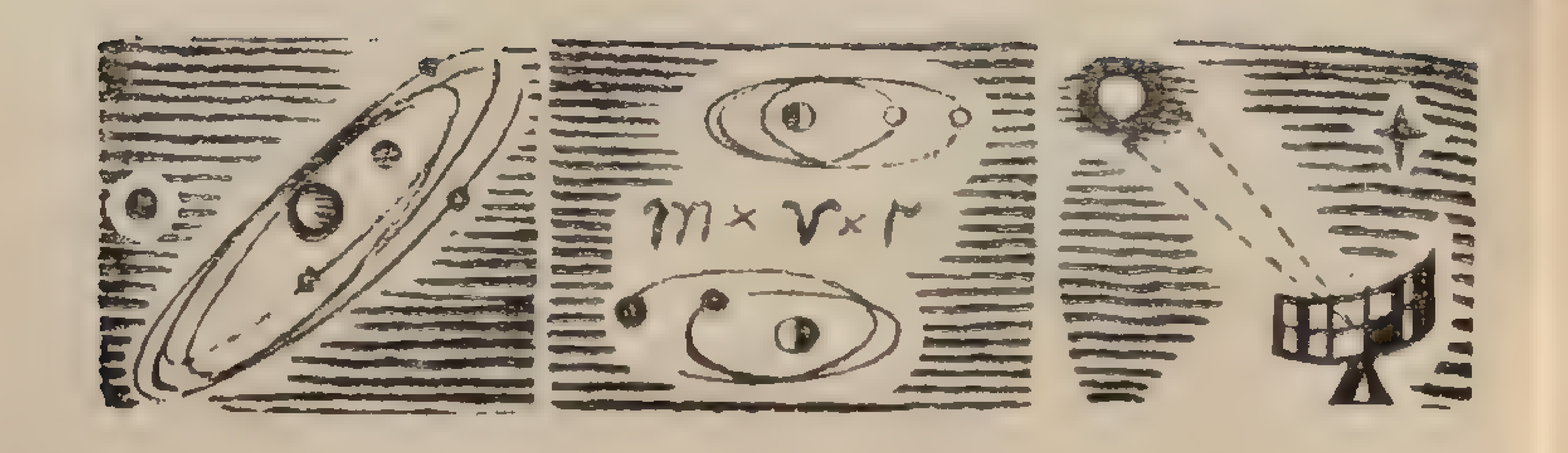


Рис. 12. Спутники Марса открыты недавно. Поведение Фобоса еще не удалось объяснить.

Если детали на поверхности Марса могут быть замечены только тогда, когда они имеют в диаметре не меньше 150 километров, то достаточно яркий светящийся объект можно увидеть, даже если сам он гораздо меньше. По количеству отражаемого ими света мы знаем, что спутники Марса Фобос и Деймос имеют в

диаметре всего несколько километров (рис. 12). Ближайший к поверхности Марса спутник — Фобос — обращается вокруг него за время, меньшее периода вращения планеты. С Марса он виден восходящим на западе и заходящим на востоке, как некоторые наши искусственные спутники. Действительно, всерьез предполагалось, что Фобос может быть искусственным спутником Марса. Большой ряд наблюдений показал, что Фобос все время перемещается быстрее, чем вычислено в предположении, что он движется под действием притяжения Марса. Земные искусственные спутники ускоряются точно так же из-за влияния атмосферы Земли, что в конце концов вызывает их движение по спирали и падение на Землю. Но если Фобос — естественный каменный спутник, то необходимая плотность атмосферы Марса в нескольких тысячах километрах от поверхности планеты должна быть много больше возможной. Чтобы реально существующая атмосфера вызвала наблюдаемое ускорение, нужно, чтобы средняя плотность Фобоса была столь низка, что Фобос может быть только полой сферической оболочкой — самый неестественный спутник! Чтобы избежать этой трудности, некоторые астрономы предположили, что ускорение Фобоса вызвано приливным воздействием со стороны Марса, хотя это возможно лишь в том случае, если кора Марса имеет совсем иной состав, чем земная. Другие предпочитают более сенсационную гипотезу, что Фобос — искусственный спутник. Только время покажет, кто прав.



V. СУЩЕСТВУЮТ ЛИ ДРУГИЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ?

До сих пор мы рассматривали возможность того, что в нашей солнечной системе может существовать жизнь, не слишком отличная от земной. Мы нашли, что Солнце слишком горячо, а межзвездное пространство слишком холодно для активной жизни. Только на планетах, расположенных в узких пределах расстояний от Солнца, температура пригодна для активной жизни, и внутри этого кольца находятся планеты Венера, Земля и Марс. О Венере мы знаем мало, так как мощный облачный слой скрывает ее поверхность, но в предыдущей главе я привел некоторые факты, убедительно свидетельствующие в пользу того, что на Марсе существует по крайней мере растительная жизнь.

Ограничиваясь пока формами жизни, по существу подобными земной, мы поставим вопрос: существуют ли в космосе около других звезд планеты, которые могут служить обителью для живых существ, или же солнечная система — пример очень редкой, если не единственной системы во Вселенной? На этот вопрос было бы очень легко ответить, если бы мы могли просто взглянуть в телескоп на ближайшие звезды и посмотреть, есть ли у них планеты, но это невозможно. Конечно, планета размером с Юпитер, обращающаяся около ближайшей звезды, должна отражать достаточно света, чтобы ее можно было сфотографировать с большим телескопом. Но звезда, вокруг которой она обращается,

настолько ярка, что слабое изображение планеты должно потеряться в ее «ореоле». Чтобы выяснить, типичное ли явление планетные системы, мы должны обратиться к гипотезам о происхождении солнечной системы.

Происхождение солнечной системы

Эти гипотезы основываются на применении известных законов физики и пытаются объяснить как можно больше наблюдаемых свойств солнечной системы на основе предложенного механизма образования планет. Все такие гипотезы должны быть дедуктивными — это значит, что они, исходя из некоторой идеи о начальном состоянии солнечной системы, с помощью ряда известных физических законов показывают, что должна была образоваться система, сходная с наблюдаемой солнечной системой. Идти обратным путем, от наблюдаемой солнечной системы к условиям ее образования, оказывается, нельзя. Следовательно, выбор подходящих для гипотезы исходных положений будет зависеть от личных взглядов астронома на природу Вселенной в целом. Другая проблема состоит в том, что гипотеза должна использовать «известные» законы физики, а при образовании планетной системы могли происходить важные физические процессы, еще не наблюдавшиеся в физических лабораториях. Так, когда Лаплас в XVIII веке выдвинул свою знаменитую небулярную гипотезу, он рассматривал только силы тяготения. Но теперь мы знаем, что нельзя не учитывать так называемые электромагнитные силы, влияющие на движение заряженных частиц вещества, хотя эти силы во времена Лапласа были совершенно неизвестны. Поэтому ни одна из гипотез происхождения солнечной системы не может быть признана окончательной.

Еще бóльшая трудность возникает вследствие того, что мы не знаем, насколько распространены планетные системы. Если наличие планет у Солнца — рядовой

4—5749

звезды среди 100 000 миллионов других звезд — явление необычное, то планеты должны возникать очень редко. Однако малая вероятность какого-либо механизма происхождения не есть еще достаточный аргумент против данной теории.

В самом деле, едва ли возможно, чтобы Солнце приобретало планеты одну за другой и их спутники совершенно случайно. Это *еще менее вероятно,* если учесть, что в солнечной системе обнаруживается очень много закономерностей. Например, все планеты движутся вокруг Солнца в одинаковом направлении, и в том же направлении движется вокруг своих планет большинство спутников; в солнечной системе «одностороннее движение». Большинство планет вращается вокруг своей оси в том же направлении. Орбиты планет наклонены друг к другу под очень малым углом — солнечную систему можно уподобить плоскому листу бумаги. Наконец, планеты (но не малые планеты или кометы) движутся по почти круговым орбитам, в то время как при действии притяжения Солнца вполне возможны также и сильно вытянутые орбиты (такие, как у кометы Галлея). Ни одна из этих закономерностей не могла бы возникнуть, если бы Солнце приобретало свои планеты случайно. Некоторые из них могли бы возникнуть вследствие притяжения одной планеты другими, ибо мы не можем рассчитать, что случится с системой, содержащей несколько планет, под действием ньютоновского закона всемирного тяготения (во всяком случае, за время, большее нескольких сотен лет). Однако ни один астроном не принимает всерьез гипотезу о «случайности» — она довольно бесплодна.

Я не собираюсь обсуждать в этой книге различные гипотезы о происхождении солнечной системы, которые время от времени выдвигаются, но я хотел бы изложить их общие свойства. Они распадаются на две большие группы. Некоторые гипотезы, например первоначальная гипотеза Лапласа, рассматривают образование планет как часть более общего процесса образования звезды. Если эти гипотезы верны, то *каждая* звезда должна

иметь свою планетную систему. Такие гипотезы могут быть названы «общими». С другой стороны, такие гипотезы, как приливная, зависящая от тесного сближения двух или более звезд, маловероятны, ибо требуют особого стечения обстоятельств. Мы можем назвать такие гипотезы «частными». Подсчитано, что если верна приливная гипотеза, то только одна звезда из миллиона должна иметь планеты. (Это все же должно дать 100 000 планетных систем в одной нашей Галактике, а в 5-метровый телескоп можно увидеть несколько сотен миллионов галактик.) Согласно некоторым гипотезам, солнечная система возникла при прохождении Солнца через облако межзвездного вещества. Эти гипотезы тоже частные, но условия, требующиеся для них, не так строги, как для приливных гипотез, — примерно одна звезда из ста должна иметь планеты.

Доказательства существования других планет

Предположим, что звезды конденсируются из межзвездного вещества. Так как мы наблюдаем в межзвездном веществе внутренние движения, то нужно ожидать, что «протозвезда» (т. е. звезда на ранних стадиях конденсации) должна обладать довольно большим *моментом количества движения* (частица массы m, движущаяся по кругу радиуса r со скоростью v, имеет момент количества движения mvr). Известные законы физики утверждают, что в процессе конденсации звезда должна сохранять момент количества движения, так что при уменьшении радиуса r скорость ее вращения v должна возрастать; звезда должна вращаться все быстрее и быстрее. Встает вопрос: почему Солнце не вращается быстрее, чем это есть на самом деле? Один из ответов состоит в том, что сжимающаяся звезда могла потерять часть своего момента количества движения при образовании планет, хотя механизм этого явления нам не вполне понятен.

Сейчас мы можем наблюдать вращение звезд. Оказывается, горячие голубые звезды (молодые) действительно вращаются быстро, а холодные красные звезды с массой, близкой к массе Солнца (или меньше), очень медленно. С моей точки зрения, это доказывает (хотя и не окончательно), что, когда звезда размером с Солнце или меньше конденсируется из межзвездного вещества, она автоматически проходит через стадию, на которой образуются планеты. Если это так, то планетные системы должны очень часто встречаться в космосе.

Можем ли мы подтвердить это какими-либо наблюдениями? Я уже говорил, что мы не можем наблюдать в телескоп сами планеты; но существует другой способ, посредством которого мы можем обнаружить планету. Если мы имеем две близкие друг другу в пространстве звезды, то одна звезда будет двигаться вокруг другой по орбите так же, как планета вокруг Солнца. В случае близких двойных звезд мы можем наблюдать это движение и начертить путь одной звезды вокруг другой. Если две звезды не подвержены влиянию третьего тела, то относительная орбита с Земли будет казаться эллипсом. Но если у одной из звезд есть планета, то притяжение третьего тела в системе усложнит движение; относительная орбита уже будет не точным эллипсом, а эллипсом с наложенными на него небольшими колебаниями. По величине этих колебаний можно установить массу невидимого третьего тела. Невидимое тело может оказаться звездой, слишком слабой, чтобы ее можно было заметить. Но в ряде случаев оказывается, что масса невидимого спутника примерно в 10 раз больше массы Юпитера. По масштабам солнечной системы такая масса слишком велика для планеты, но в то же время слишком мала для звезды. Такие наблюдения должны быть очень точными: среднее отклонение от эллипса может не превышать $^{1}/_{12}$ секунды дуги (или булавочной головки, видимой с расстояния 11 километров). Мы можем обнаружить такие планетные тела, если только они весьма массивны (по сравнению с планетами солнечной системы) и движутся вокруг звезды — члена двойной си-

стемы, очень близкой к Солнцу. Но тот факт, что большое число таких планетных тел обнаружено в ближайших системах двойных звезд, должен указывать на то, что планетные системы — явление обычное, если только наша область Галактики не является их особо излюбленным местом. Основываясь на этом, можно сказать, что по крайней мере одна звезда из десяти должна иметь планеты. Нужно напомнить, что в настоящее время мы можем наблюдать иные планетные системы только у двойных звезд. Обнаружение планет у одиночных звезд — задача гораздо более трудная[1].

Жизнь на планете, обращающейся вокруг звезды в двойной системе, должна казаться нам очень необычной, так как регулярная смена дня и ночи будет нарушена, даже если планета вращается вокруг оси совершенно равномерно. Когда обе звезды находятся по одну сторону от планеты, происходит обычная смена дня и ночи. Но через половину планетного года звезды окажутся по разные стороны от планеты и на ней не будет ночи, так как, в то время как одно «солнце» заходит на небе планеты, другое восходит. Жизнь на Земле, особенно у наиболее примитивных форм, строго регулируется сменой дня и ночи, и жизнь, которая может развиться на планете в системе двойной звезды, должна столкнуться с трудной задачей приспособиться к более изменчивым условиям света и темноты.

Особенности двойной звездной системы могут сделать ее непригодной для существования активной жизни (такой, какой мы ее знаем): в системе может не оказаться области, которая всегда находится при тем-

---

[1] Невидимые спутники обнаружены и у одиночных звезд при наблюдении их движения: звезда со спутником движется не по прямой, а по извилистой линии. Однако практически все до сих пор обнаруженные спутники, с массой в 10 раз больше Юпитера или еще массивнее, — это все-таки еще звезды, они светят сами, хотя и слабо. Хотя самих планет мы еще не наблюдали, нет сомнения, что их довольно много: вероятно, нет большой разницы между маленькой звездой и крупной планетой. Если есть одни, то должны быть и другие. — *Прим. перев.*

пературе, необходимой для активной жизни. Например, если бы Солнце имело соседа, точно подобного ему и удаленного от него не более чем на двойное расстояние Венеры от Солнца, то не существовало бы круговой орбиты вокруг Солнца, которая всегда находилась бы в пределах температур, необходимых для активной жизни. (Во всяком случае, в двойной системе, подобной этой, орбита планеты должна быть очень сложной, не имеющей ничего общего с примерно круговыми орбитами в реальной солнечной системе.)[1]

Температура и возраст планет

Положение зоны активной жизни зависит от яркости центральной звезды. Если Солнце заменить горячей голубой звездой, излучающей в 17 000 раз больше света и тепла, чем Солнце (такие звезды нередки в космосе), то зона активной жизни расположится между расстояниями, в 2,5 и 50 раз превышающими расстояния от Солнца до Плутона (рис. 13). С другой стороны, если Солнце заменить холодной красной звездой, излучающей в 16 раз меньше света и тепла, чем Солнце, то зона активной жизни будет целиком лежать внутри орбиты Меркурия.

Если бы Солнце меняло количество излучаемого им света и тепла, то зона активной жизни меняла бы свое положение в солнечной системе с тем же периодом. Если бы Солнце изменяло свою яркость в 4,5 раза, то зона активной жизни при минимальной яркости никогда не перекрывалась бы с зоной при максимальной яркости. Но мы наблюдаем в космосе звезды, яркость которых периодически меняется еще сильнее. Некоторые звезды могут удвоить свою яркость менее чем за час. Если бы у такой звезды была планета, жизнь на

[1] Сейчас астрономы рассчитали орбиты в системе двойной звезды, при которых планета не испытывает сильных колебаний температуры. Они имеют форму восьмерки, и звезды находятся в центрах обеих половинок орбит. — *Прим. перев.*

ней находилась бы в скрытой форме во время минимума звездного цикла, становясь активной, только когда звезда разогревается и планета оказывается в зоне активной жизни. Мы видим, что хотя большая часть

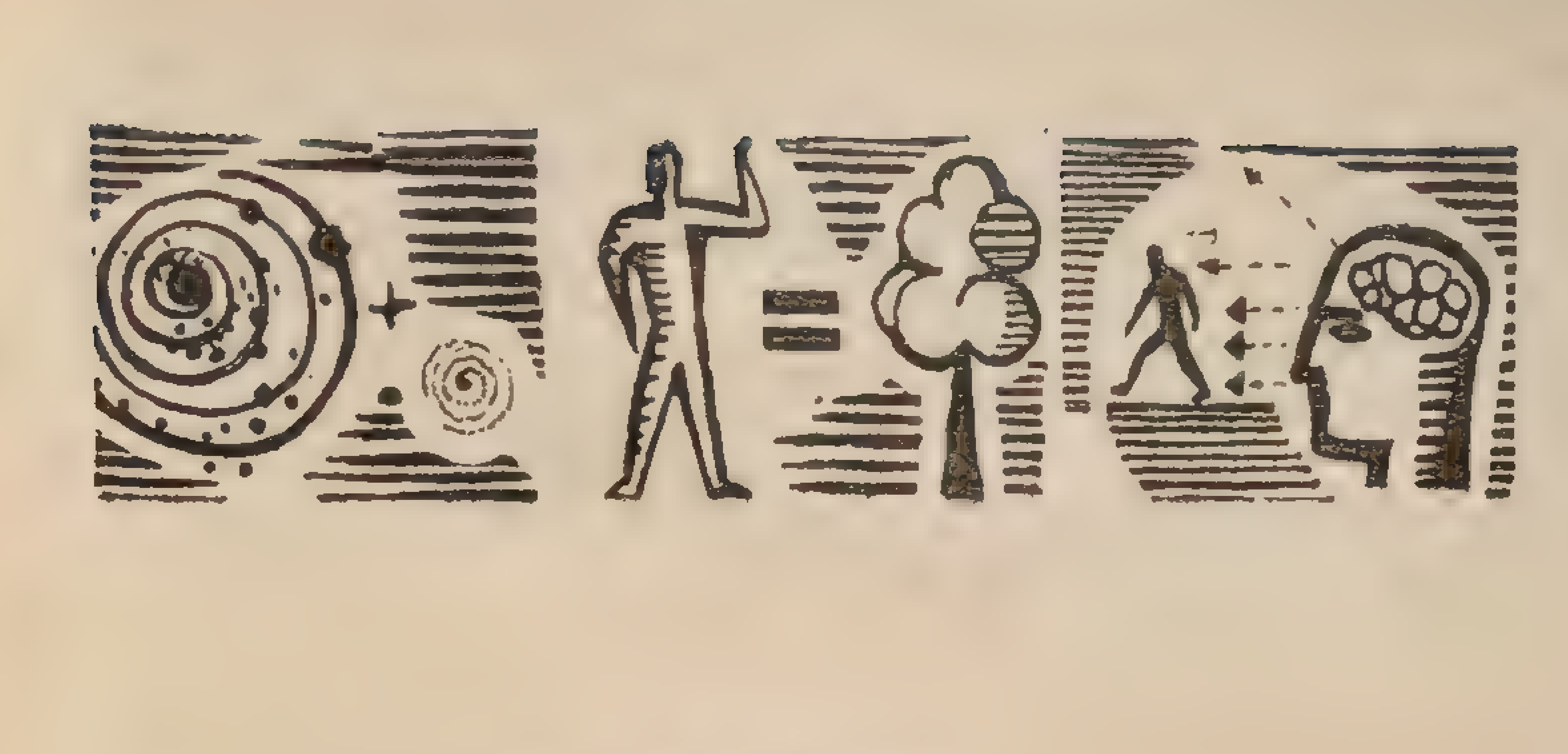


Рис. 13. Если бы излучение Солнца уменьшилось до $^1/_{16}$ современного, жизнь могла бы существовать только внутри орбиты Меркурия (*A*). Если бы оно увеличилось в 17 000 раз, жизнь в солнечной системе стала бы невозможна (*B*). *1, 2, 3* — холодные зоны.

звезд может иметь планеты, требования к планете, пригодной для жизни (более или менее сходной с известной нам), весьма строги. И даже если на такой планете существуют нужные физические условия, существует еще одна сторона вопроса, которую надо рассмотреть.

Жизнь на Земле развивалась в течение тысяч миллионов лет, прежде чем дошла до современного состояния. Если мы предположим, что это типично для развития форм жизни, сравнимых по интеллекту с Человеком, то даже среди планет с пригодными температурными условиями мы должны отобрать только те планеты, возраст которых (а значит, и возраст их материнских звезд) порядка нескольких миллиардов

лет. Многие звезды гораздо моложе. Если принять во внимание все рассмотренные обстоятельства, то оказывается, что из 40 ближайших к Солнцу звезд только две удовлетворяют условиям для возможного развития разумной жизни, более или менее подобной Человеку. Конечно, в таких расчетах много неопределенностей, но они дают нам представление о вероятности разумной жизни на планетах других звезд. Такие расчеты были сделаны американскими астрономами с вполне серьезной целью, а именно попытаться обнаружить свидетельства существования разумной жизни вне солнечной системы. При этом используются радиотелескопы. Такие телескопы принимают из космоса не свет и тепло, а радиоволны. Сама Вселенная излучает большое количество радиоволн, но они имеют характер «шумов», т. е. если мы подадим космический радиосигнал на громкоговоритель, то услышим шипение. Искусственная радиопередача с осмысленными сигналами по характеру будет резко отличаться от шума. В новой Национальной радиообсерватории США, в Западной Вирджинии, начались систематические поиски «разумных сигналов» из космоса, посланных с помощью радиоволн. Каким бы похожим на научную фантастику ни казалось это рассуждение, я должен подчеркнуть, что поиски таких признаков «разума» предприняты со всей серьезностью. Невозможно оценить, каков шанс на успех (или даже вероятность распознать разумные сигналы, если они будут приняты), но если этот эксперимент окажется успешным, то это неизбежно повлияет на наше отношение к жизни и к Вселенной.



VI. ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ?

До сих пор мы рассматривали проблему «Жизнь и Вселенная» в предположении, что слово «жизнь» означает тип организмов, таких же (или очень близких) по своим физическим и химическим свойствам, как и на Земле. Предполагалось, что диапазон условий, необходимых для активной жизни земных существ, применим и вне Земли. Конечно, возможно, что это именно так и что любая форма активности, которую можно назвать жизнью в широком смысле слова, может возникнуть только в узких пределах условий, найденных на Земле и ближайших планетах. Но в равной степени возможно, что формы жизни, существующие на Земле, это те формы, которые стали развиваться именно потому, что они смогли приспособиться к земным условиям; формы, которые на Земле остались примитивными, могли бы успешно развиваться и эволюционировать в условиях другой планеты.

Столкнувшись с этой проблемой, ученые заняли две позиции. Одни считают, что поскольку мы не знаем пределов способности эволюции создавать самые разнообразные формы жизни, то жизнь возможна во Вселенной почти повсеместно, за исключением, быть может, недр звезд! Другие считают, что, поскольку мы знаем только единственную форму жизни — существующую на Земле, — просто рискованно говорить о других формах жизни; любую планету, на которой земная

жизнь невозможна, мы, несомненно, должны называть «безжизненной».

Я полагаю, что обе эти точки зрения неверны; по существу обе в равной мере умозрительны. Средний путь состоит в том, чтобы быть готовым признать, что какие-то пределы физических условий, внутри которых возможна любая жизнь, существуют (и попытаться узнать эти пределы путем выяснения самой природы жизни), но не вставать на средневековую точку зрения, что Земля есть центр Вселенной. Другими словами, мы должны быть готовы строить гипотезы, но наши гипотезы не должны по возможности противоречить нашим знаниям.

Существует ли „жизненная сила“?

Мы сразу же сталкиваемся с трудностью в установлении того, чем отличается живой организм от неживого. На этот счет существуют две точки зрения. С механистической точки зрения все свойства того, что мы называем живым существом, в принципе можно объяснить (если мы знаем о них достаточно) языком физики и химии. С этой точки зрения нет строгого разделения между живым и неживым веществом и одно незаметно переходит в другое. Ей противоположна виталистическая точка зрения, по которой живое вещество *качественно* отличается от неживого, так как наделено некой жизненной силой, лежащей вне сферы действия законов физики и химии.

Мы далеки от объяснения всех свойств жизни языком современной науки, и, пока остаются пробелы, остается и лазейка для виталистических воззрений. Но интересно взять некоторые свойства живого вещества, которые виталисты выдвигают в поддержку своих взглядов, и посмотреть, насколько эти же свойства присущи некоторым неживым системам. Для сравнения я, как астроном, естественно, обращаюсь к звездам, хотя возможны и другие сопоставления. Должен

подчеркнуть, что я не считаю звезды «живыми». Именно потому, что я уверен, что слово «живое» не применимо к звездам, это сравнение покажет, как трудно определить, что же мы понимаем под словом «жизнь» в общем смысле.

Чтобы провести такое сравнение, мы должны прежде всего понять, как организовано вещество в звездах — как звезда «работает». Чтобы поднять карандаш над столом, я должен затратить какую-то энергию, и эта энергия переходит в потенциальную энергию карандаша благодаря занимаемому им положению. Если я отпущу его, то он упадет под действием притяжения Земли; при этом карандаш приобретет скорость. Потенциальная энергия карандаша превратится в кинетическую, в энергию движения. Звезда начинает свое существование как огромный сгусток межзвездного вещества. Каждая частица звезды притягивает другие, и звезда начинает сжиматься. При этом потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию атомов, из которых состоит звезда, и эту кинетическую энергию мы называем теплом. Звезда нагревается. Когда в центре звезды достигается нужная температура (около 15 миллионов градусов), начинаются ядерные реакции, сопровождаемые выделением энергии, и сжатие звезды прекращается. Звезда теперь находится в равновесии, так как в любой точке внутри звезды вес вышележащего звездного вещества точно уравновешивается давлением газа, из которого состоит звезда.

Так как вес вышележащего вещества возрастает при продвижении внутрь звезды, то и давление должно возрастать. Но давление газа растет с его температурой, так что температура также должна увеличиваться вглубь.

Высказывалось мнение, что живой организм отличается от неживого тем, что «целое есть нечто большее, чем простая сумма частей, из которых оно состоит». Если бы даже поведение каждой отдельной клетки нам было ясно, это не означало бы, что мы можем объяс-

нить поведение организма в целом; например, живая клетка не может жить, будучи удаленной из организма, частью которого она является. Но и кусочек звезды не может светить сам по себе, так как если мы отделим его от звезды, то он немедленно испарится в окружающее пространство и охладится. Выделение энергии внутри звезды зависит от веса всех внешних областей звезды.

Одна часть звезды взаимодействует с другой. Если мы возьмем частицу вещества из центра звезды и приложим к ней такие же силы, воздействию которых она подвергалась внутри звезды, то она будет светиться; таким же образом клетку можно заставить жить и расти вне материнского тела, если ее поместить в нужную «питательную среду», — среду, воспроизводящую условия, в которых клетка была внутри организма.

Выражение «целое больше, чем простая сумма частей», в физике банально; в любой физической системе мы должны рассматривать и природу отдельных ее частей и взаимодействие между ними. В этом смысле часы не просто совокупность зубчаток, пружин и колесиков, из которых они сделаны.

Предполагалось также, что способность самостоятельно восстанавливаться после повреждений есть особенность, присущая только живым организмам. Но что случится со звездой, если бы удалось отделить от нее часть? Она немедленно восстановила бы свою первоначальную сферическую форму и стала вполне доброкачественной звездой, хотя и не такой массивной, как вначале. Звезда «излечила» бы сама себя. Причина, по которой это произойдет, состоит в том, что удаление части звезды нарушит симметрию внутренних сил в звезде; части звезды близ «раны» будут подталкиваться (давлением звездного вещества) *только с одной стороны* и будут двигаться, пока давление с обеих сторон не сравняется.

Нечто подобное, хотя и гораздо более сложное и скорее относящееся к химии, чем к физике, происходит

с клетками моего пальца, если я его порежу. Возникшая асимметрия условий ведет к установлению организмом нового состояния симметрии, то есть к излечению.

Предполагалось, что живые организмы характеризуются способностью реагировать на непредвиденные обстоятельства. Но разве это не справедливо и для звезды в моем мысленном эксперименте? Притом, конечно, для реальной звезды, а не придуманной в этом эксперименте.

Звезды как „организмы"

Несомненно, свойство воспроизводить самих себя присуще только живым организмам. Но нужно напомнить, что организм должен получать материал для самовоспроизведения из окружающей среды, и мы можем представить себе стечение обстоятельств (маловероятных, конечно, но не невозможных), при которых и звезды могут воспроизводить себе подобных. Предположим для начала, что существует быстро вращающаяся звезда, находящаяся еще в процессе сжатия. Сжимаясь, звезда будет вращаться все быстрее и быстрее (см. предыдущую главу), и, если первоначальное вращение было достаточно быстрым, она может разорваться на две меньшие звезды. Если бы получившаяся при этом двойная звезда стала двигаться в облаке межзвездного вещества, то ее притяжение захватило бы некоторое количество этого вещества. Вследствие такого захвата звезды стали бы расти и смогли бы вырасти до таких же размеров, как и первоначальная, получая необходимый материал из окружающей среды.

Живые существа учатся на опыте; это значит, что их реакция на данную совокупность обстоятельств зависит от того, что они пережили в прошлом. Несомненно, можно придумать какие-то очень искусственные обстоятельства, при которых это было бы справедливо и для звезды, но достаточно более простого примера.

Чем больше металлический прут сгибали и выпрямляли, тем легче его согнуть в следующий раз. Процесс изгибания прута меняет его физические свойства, так что это уже не тот же самый прут, что был раньше; подобным образом и организм, приобретший некоторый опыт, уже не тот организм, каким он был раньше.

При современном уровне развития техники вполне возможно построить вычислительную машину, которая не только сможет сносно играть в шахматы, но и повышать свое мастерство, обучаясь на собственных ошибках!

Другим свойством живых организмов является то, что с точки зрения выполняемых ими функций они имеют несколько уровней организации. Деятельность определенной части моего тела регулируется химическими веществами в крови, называемыми гормонами, присутствие которых регулируется железами, которые в свою очередь управляются (хотя и бессознательно) моим мозгом. Но подобную *иерархию функций* мы находим и во Вселенной; движение Луны управляется планетой, движение планет — звездами, движение которых управляется в свою очередь тяготением Галактики (и, возможно, движение галактик управляется тяготением Сверхгалактики).

Несомненно, количество таких примеров можно было бы умножить, но сказанного достаточно, чтобы заронить сильное сомнение в том, что живые объекты в чем-то отличаются *качественно* (а не только по степени сложности) от неживых. Более правдоподобно, что граница между живым и неживым не резкая и простейший живой объект незначительно отличается от сложного неживого. Действительно, частицы вирусов (о которых пойдет речь в следующей главе) похожи на сложные химические кристаллы, обладающие некоторыми, хотя и не всеми, свойствами жизни. При этом возникает интересная возможность: живое может естественным путем произойти от неживого. Я рассмотрю эту возможность в главе VIII.

Способность противостоять распаду

После всего сказанного все же остается чувство, что живые существа, какие мы знаем на Земле, чем-то отличаются от неживых предметов. Несомненно, это чувство частично связано с идеей *сознания*. Сознание — очень трудный объект для научного рассмотрения, так как мы можем непосредственно воспринимать только наше *собственное* сознание, а сознание других существ можем воспринимать только при наличии каких-либо средств общения с ними. Во всяком случае, было бы ошибочно сказать, что любой простейший, но несомненно живой организм имеет сознание, и это, вероятно, не то качество, которое отличает живое от неживого. Но различие определяется и еще кое-чем. Я думаю, суть дела в том, что живые существа способны противостоять распаду.

Неживые предметы всегда стремятся перейти из более организованного состояния в менее организованное. Ничего не стоит разрушить карточный домик, но вы удивитесь, если подброшенная в воздух колода карт упадет в виде карточного домика! С другой стороны, *структура* живого сохраняется, хотя вещество, из которого построен живой организм, меняется. Вещество, из которого состоит человеческое тело (за исключением мозга), непрерывно обновляется, в то время как мы остаемся теми же самыми людьми, которых легко узнать [1]. Отдельные индивидуумы высших форм жизни должны умирать; но часть тех свойств, которые отличают человека от других, живет в его детях. Легче всего это показать на таком простом одноклеточном существе, как амеба — микроскопическое животное, обитающее в воде пруда. Амеба воспроизводит сама себя путем простого деления на две маленьких амебы, которые

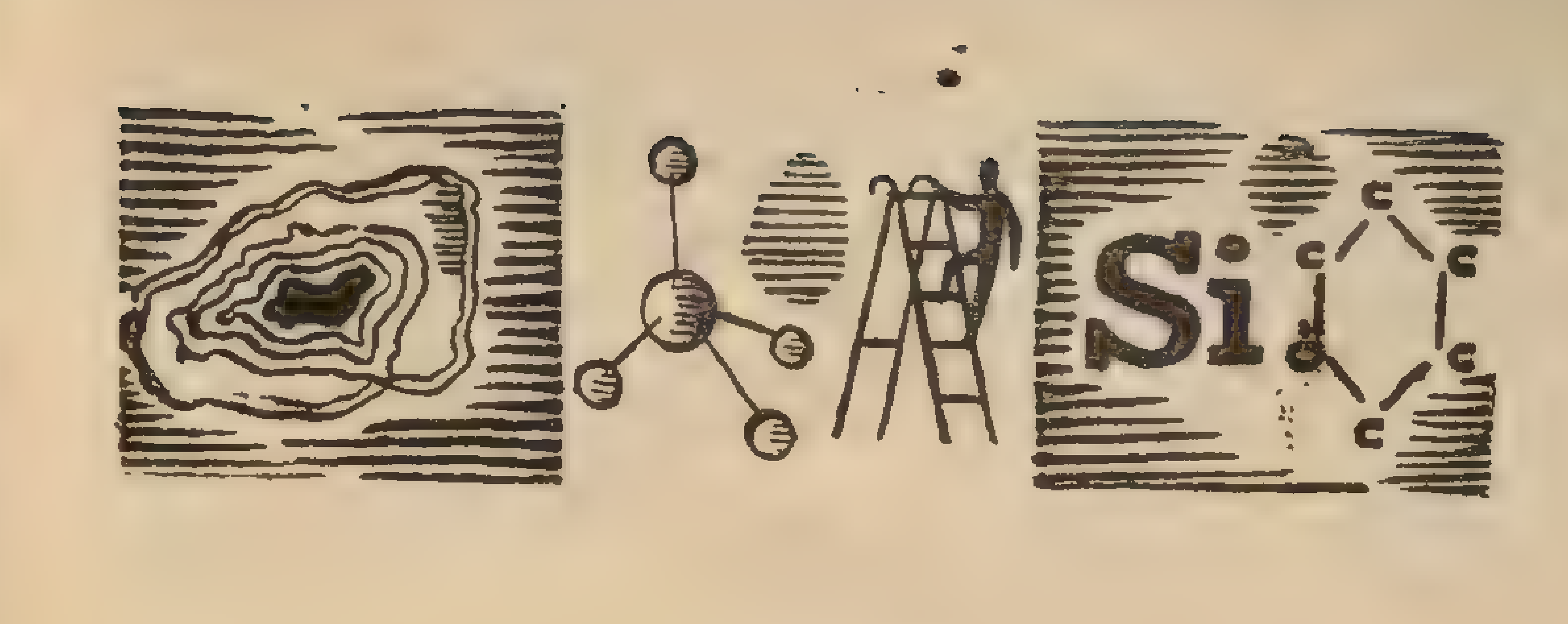
---

[1] Сейчас уже высказываются сомнения и в том, что вещество мозга не обновляется. — *Прим. перев.*

затем растут до размеров первоначальной. Хотя при неблагоприятных условиях и амеба может погибнуть, но, находясь в соответствующей среде, амеба в полном смысле слова «вечна»[1]. В качестве аналогии этого свойства живого на ум приходит водоворот. Вода втекает у одного конца водоворота и вытекает у другого, но вид водоворота сохраняется. Конечно, сравнение чисто внешнее, так как структура водоворота поддерживается посторонними силами — игрой ветра на воде и расположением скал, — тогда как живое существо само обладает способностью поддерживать свою структуру, хотя вещество, из которого оно состоит, меняется.

---

[1] Это неверно. Амеба в конце концов умирает от «старости», хотя и после очень большого числа делений. Она не вечна и в этом смысле ничем не отличается от других организмов. — *Прим. перев.*



VII. МОЛЕКУЛЫ И ЖИЗНЬ

В предыдущей главе я пытался выяснить, имеются ли принципиальные отличия живого существа от неживого. Я сделал это путем сравнения некоторых особенностей поведения живой материи — самовосстановления, самовоспроизведения и т. д. (которые, как можно полагать, отличают живое вещество) — с поведением звезды в некоем (мысленном) эксперименте. Было сделано предположение, что нет резкой границы между живым и неживым. Тем не менее чувство, что живые существа на Земле чем-то отличаются от неживых, должно отражать какое-то реальное различие в поведении, и я предположил, что им является способность живых существ противостоять распаду.

На первый взгляд эта гипотеза резко противоречит повседневному опыту. Разве не стоят камни Стоунхенджа[1] в течение жизни сотен человеческих поколений? Но присмотримся ближе. Хотя отдельные живые существа могут умереть, схема строения вещества, делающая их самими собой, живет в их потомках, так что это свойство присуще жизни как таковой, а не отдельным живым существам, с которыми можно сравнить Стоунхендж. Кроме того, Стоунхендж не активен. Если

---

[1] Стоунхендж — комплекс сооружений из огромных каменных плит между Бристолем и Саутгемптоном в Великобритании. Полагают, что он создан ее древним населением — кельтскими племенами. — *Прим. перев.*

Стоунхендж что-либо и делает, то только распадается, разрушает свою структуру. Именно способность поддерживать свою структуру, не уменьшая при этом своей активности, отличает на Земле живые объекты от неживых.

Порядок и беспорядок

Одним из триумфов классической физики было установление того, что тенденция к распаду (известная как *второй закон термодинамики*) есть следствие законов вероятности. Мы можем определить «распад» более точно как «уменьшение порядка в системе». Слово «порядок» здесь имеет точное научное значение, причем в действительности близко соответствует обычному понятию порядка. Например, расположение биллиардных шаров в виде треугольника в начале игры более упорядоченно, чем когда они разбросаны по столу, и так далее.

Чтобы показать, как случайность приводит к нарушению порядка, я рассмотрю очень простой опыт. В прямоугольный сосуд с водой я мысленно введу с одного края немного красных чернил. Чернила состоят из чрезвычайно большого числа отдельных частиц — молекул, каждая из которых движется, соударяется с другими молекулами и отскакивает прочь. Красные чернила будут непрерывно распространяться по сосуду, пока вода не примет однородный розовый цвет. Но каждая молекула чернил с одинаковой вероятностью может двигаться как одним путем, так и другим. На границе между красными чернилами и чистой водой половина молекул по левую сторону от нее будет двигаться направо, а половина налево. То же будет происходить с молекулами по правую сторону границы. Но так как с той стороны, где чернила были введены в воду, находится *больше* молекул чернил, чем с другой, то из чернил в чистую воду будет переходить больше молекул, чем в обратном направлении. Таким образом, граница движется в воде до тех пор, пока чернила не распределятся

в воде равномерно. Чисто случайное поведение каждой отдельной молекулы вызывает закономерное поведение большого числа молекул.

Мы скажем, что состояние, когда красные чернила находятся в одной половине сосуда, более упорядоченно, чем когда чернила распространены по всему сосуду. Тепло (т. е. хаотическое движение молекул газа или тела) есть другая форма беспорядка.



Рис. 14. Метан (болотный газ) и сахар состоят из одних и тех же элементов, но строение их молекул сильно различается по сложности.

Живой организм, очевидно, очень упорядоченная система, и процессы жизнедеятельности должны уменьшать порядок (уменьшение порядка часто проявляется в виде тепла). Он может поддерживать свою структуру, обладающую большим порядком, только поглощая *порядок* из окружающей среды. В случае животных нетрудно понять, что, когда они едят *другие* живые организмы (животных или растения), они поглощают

вещество в упорядоченной форме. Растения обладают способностью использовать для создания порядка энергию Солнца; посредством фотосинтеза они создают сложные, высокоупорядоченные молекулы таких веществ, как сахар $C_6H_{12}O_6$, из более простых, менее упорядоченных молекул, например углекислого газа CO_2 (рис. 14). В растворе сахара 24 атома, составляющие молекулу сахара, связаны между собой и движутся вместе, тогда как в растворе углекислоты каждая молекула состоит только из трех атомов; раствор сахара — это организация вещества с большим порядком, нежели раствор углекислоты, точно так же как хоровод — танец с большей степенью порядка, чем вальс.

Но мы продвинулись пока лишь на один шаг, так как теперь встает вопрос, почему порядок в сложной молекуле (скажем, молекуле сахара) самопроизвольно не переходит в беспорядок и молекула не распадается сама по себе на более мелкие части.

Строение клеток

Пожалуй, величайшим открытием физики XX века до сих пор является то, что классические законы физики (такие, как второй закон термодинамики), будучи справедливыми для собрания атомов или молекул, не приложимы к отдельным атомам и молекулам. Действующие в микромире законы совсем иные, и все вместе они образуют так называемую *квантовую теорию*. Говоря упрощенно, квантовая теория гласит, что состояние *одного* атома или *одной* молекулы может меняться только скачкообразно; атом не может перейти из одного состояния в другое путем *непрерывного* перехода. Мы можем представить себе разницу между двумя типами законов как разницу между крутым склоном и лестницей, верхние части которых — состояние порядка, а нижние — беспорядка. Если классические законы применимы к молекуле, находящейся на вершине склона, она просто будет равномерно соскальзывать по склону

в беспорядок. Но квантовые законы гласят, что молекула находится на верху *лестницы*. Она будет находиться там, пока ее не подтолкнут. Когда ее толкнут, она упадет на ступеньку ниже и там останется. Следовательно, молекула будет распадаться не сама по себе, а только если она получит извне определенное количество бес-



Рис. 15. Общее строение клетки.

порядка. Живой организм, очевидно, собрание очень большого числа молекул, но странным образом он сохраняет это свойство *единичной* молекулы.

Одна из наиболее захватывающих и волнующих повестей в современной науке — это путь, которым биофизики показали, что свойства живого организма действительно определяются свойствами небольшого числа отдельных субмикроскопических частиц.

Живое тело состоит из микроскопических клеток. Простой организм, такой, как амеба, может состоять только из одной клетки, тогда как более сложные могут содержать огромное число клеток. (Например, кубический сантиметр ткани человеческой печени содержит около 200 миллионов клеток.) Каждая клетка имеет центральное тело — ядро (рис. 15). Вокруг ядра находится полужидкая среда — цитоплазма, окруженная стенками, которые могут быть или не быть жесткими. Правильное функционирование таких клеток в соответствующих местах живого организма связано с наличием в цитоплазме определенных химических веществ, называемых *белками*. Молекула белка состоит из одной

или более цепочек углеродных атомов. К каждому углеродному атому присоединена группа атомов, образующая определенную структуру. Каждая из этих групп характерна для какой-либо аминокислоты; молекула белка состоит из одной или более цепочек аминокислот. Химическое поведение белка зависит не только от того, из каких аминокислот он состоит, но также и от *порядка, в котором аминокислоты расположены вдоль цепочки.* Действие каждого белка весьма специфично. Гемоглобин крови человека представляет собой белок, состоящий из многих тысяч аминокислот (19 разных типов), и из опыта медицины по переливанию крови хорошо известно, что кровь одной группы не всегда может заменить кровь другой группы. Различия между группами состоят в порядке, в котором аминокислоты расположены в белке.

Клетка непрерывно вырабатывает новый белок, и этот белок должен быть нужного типа, то есть в нем аминокислоты должны быть расположены в нужном порядке. Контроль над этим процессом осуществляется в ядре клетки находящимися там определенными кислотами (нуклеиновыми). Молекула нуклеиновой кислоты — тоже длинная цепочка углеродных атомов, с особыми присоединенными к ней группами; в этом случае существуют только четыре различные группы атомов; они называются *аденин* (его я обозначу через *А*), *гуанин Г*, *цитозин Ц* или *тимин Т*. И здесь существенным является порядок, в котором эти особые группы (или нуклеотиды) расположены вдоль цепочки нуклеиновой кислоты. Если в молекуле нуклеиновой кислоты имеется определенная последовательность нуклеотидов, то определенные аминокислоты (и только они) могут, так сказать, приклеиваться к молекуле нуклеиновой кислоты. Если разные аминокислоты приближаются к молекуле нуклеиновой кислоты, то она либо присоединяет их (если есть свободное место), либо отвергает. Когда вся цепочка заполнена, аминокислоты могут соединиться между собой и отделиться от молекулы нуклеиновой кислоты в виде молекулы бел-

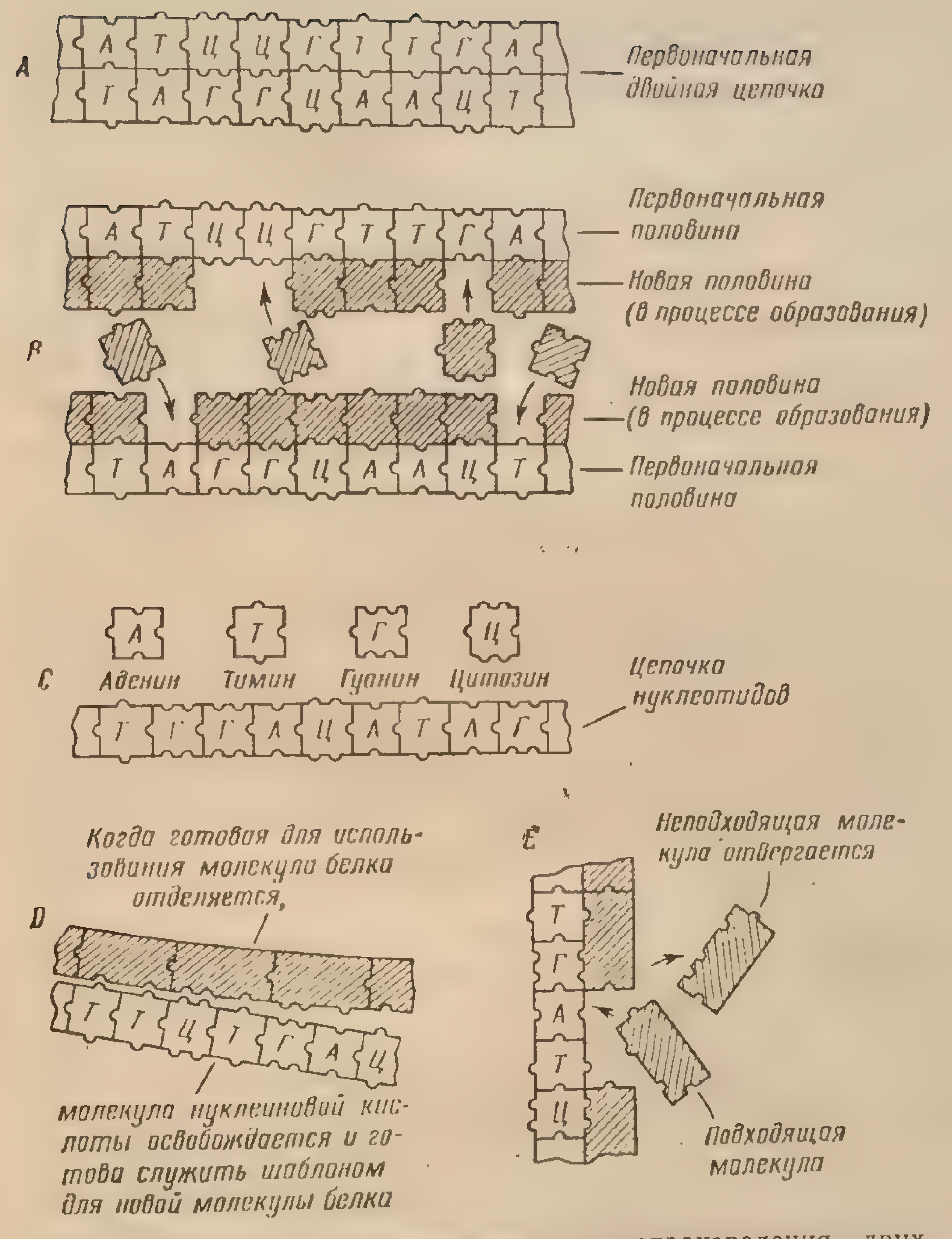


Рис. 16. Процессы образования и воспроизведения двух «кирпичиков» живой клетки — нуклеиновой кислоты и аминокислоты.

ка (рис. 16). Другими словами, нуклеиновая кислота действует как шаблон, по которому строятся молекулы белка, и рисунок шаблона определяет рисунок образующейся молекулы белка.

Шаблон жизни

Нуклеиновая кислота, служащая шаблоном для молекул белка, находится и в ядре клетки, и в цитоплазме, в которой вырабатывается белок. Но существует другой тип нуклеиновой кислоты, который находится только в ядре. Он состоит из тех же нуклеотидов и служит для выработки первого типа нуклеиновых кислот. Но эта новая нуклеиновая кислота обладает свойством воспроизводить самое себя аналогичным образом. Когда клетка делится на две, вещество ядра распределяется между дочерними клетками и новые клетки могут работать как фабрики белков точно тех же типов, какие вырабатывала материнская клетка.

Современные исследования структуры сложных молекул дают нам ключ к механизму важного свойства самокопирования. Молекула нуклеиновой кислоты имеет вид двух параллельных цепочек, соединенных мостиками (как у лестницы-стремянки). Мостики образуются путем связывания нуклеотидов одной цепочки с нуклеотидами другой. Но аденин связывается *только* с тимином, а гуанин — *только* с цитозином. Если лестница разрывается вдоль, то, где бы ни был *А*, он будет способен улавливать только *Т*; где бы ни был *Т*, он будет способен улавливать только *А*. То же происходит с *Г* и *Ц*. Таким образом, «левая сторона» лестницы пристроит себе новую «правую сторону», а «правая» — «левую», и там, где раньше была только одна молекула нуклеиновой кислоты, появятся две, причем порядок нуклеотидов в новых молекулах будет таким же, как в первоначальной молекуле.

Мы можем наблюдать этот процесс, когда в живую клетку вводится *чужая* нуклеиновая кислота. Какая-

либо бактерия может быть атакована вирусом. Вирусная частица слишком мала, чтобы ее можно было рассмотреть в обычный микроскоп, но ее можно увидеть в более мощный электронный микроскоп. Она состоит, по существу, из одной молекулы нуклеиновой кислоты и защитной оболочки. Она не может существовать сама по себе, так как не имеет возможности создавать свои химические структуры из сырого материала. Но внутри бактерии нуклеиновая кислота вирусной частицы действует как шаблон, на который могут наклеиваться химические вещества, вырабатываемые бактерией. Вирусная частица воспроизводит себя за счет бактерии, которая в конце концов погибает.

Строение живого организма есть, следовательно, фактически отражение строения молекул нуклеиновой кислоты в ядрах его клеток, так как оно переходит от одного поколения клеток к другому. Молекула нуклеиновой кислоты предопределяет с помощью химического «кода» природу живого существа, и это предопределение организм передает своим потомкам. Но расположение нуклеотидов в молекуле нуклеиновой кислоты определяет не только то, чем организм одного типа отличается от другого типа или чем различаются между собой два организма одного типа, но также и то, каким образом организованы и согласованы различные физические и химические процессы, составляющие вместе жизнедеятельность индивидуума. На первый взгляд кажется невероятным, что это может быть сделано с помощью всего лишь четырех видов нуклеотидов. Но молекула нуклеиновой кислоты может содержать до 20 000 нуклеотидов. Это дает количество различных возможных комбинаций, выражающееся числом с 12 000 нулей. Конечно, не все эти комбинации могут соответствовать живым существам, но полное количество атомов в видимой Вселенной выражается числом менее чем с 80 нулями. Так что из всех возможных видов строения молекулы нуклеиновой кислоты по известной нам схеме только малая часть осуществляется или даже может осуществиться. Молекула нуклеиновой кислоты,

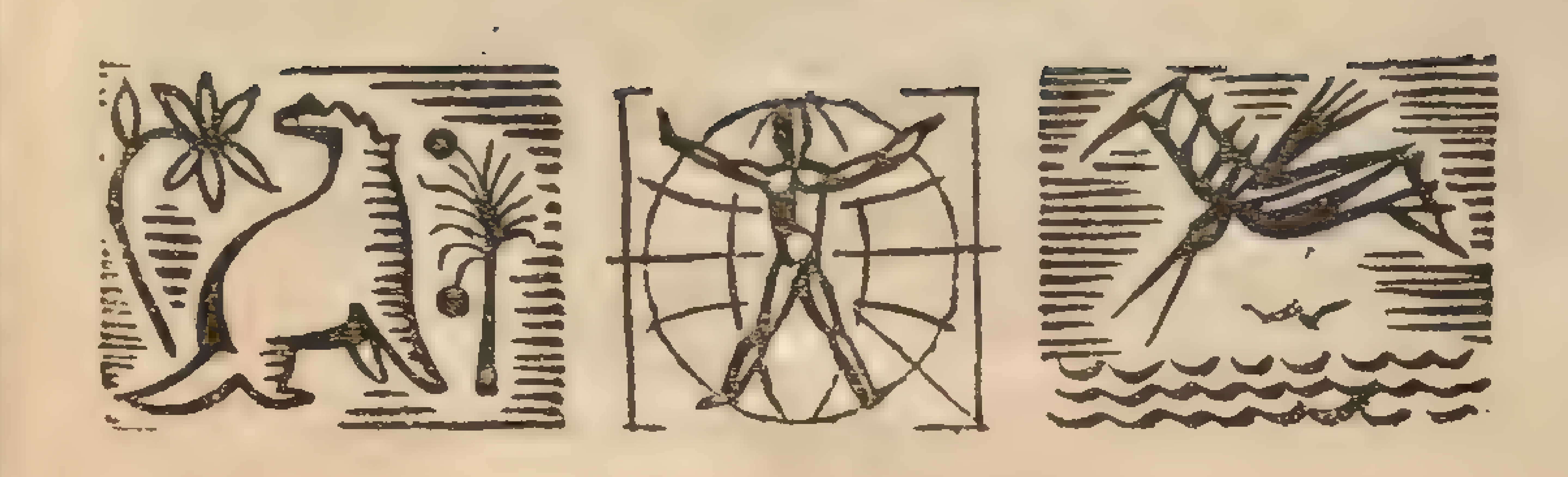


несущая в себе предопределение природы живого существа в химическом «коде», велика по сравнению с обычными молекулами, но мала по сравнению с привычными нам масштабами.

Предположим, что у каждого живущего сейчас человека мы возьмем по молекуле нуклеиновой кислоты только из одной клетки. Вместе эти молекулы будут описывать свойства всего ныне существующего человечества — каждого мужчины, женщины или ребенка. Но в целом эта гигантская «картотека» не наполнит и обычного наперстка! По существу, всю сложность живого существа и устойчивость его строения можно разглядеть в структуре его основных молекул. Существенным является то, что из всех химических элементов только углерод обладает способностью образовывать длинные цепочки такого рода молекул. Так что мы по крайней мере в одном можем быть уверены — где бы ни появилась во Вселенной жизнь, химия ее будет основана на углероде[1]. И к этому заключению мы пришли, не просто сказав, что «вся жизнь на Земле основана на углероде», но изучив самую сущность жизни.

---

[1] Это неверно. Таким же свойством обладает и кремний. Пока мы не наблюдали «кремниевой жизни», но это не основание, чтобы отбрасывать такую возможность. На Земле в лабораториях уже созданы кремнийорганические соединения. Правда, активной «кремниевая жизнь» может быть только при высоких температурах. Существует ли она где-либо на самом деле, покажет будущее. — *Прим. перев.*



VIII. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Как появилась жизнь на Земле? На этот вопрос в разное время давалось много ответов. Например, предполагалось, что жизнь могла быть занесена на Землю в примитивной форме метеоритами откуда-нибудь из Вселенной. Не кажется невероятным, что жизнь, развившись в одной части Вселенной, может каким-либо путем распространиться в другие ее части. Но это предположение не очень плодотворно, так как оно просто обходит молчанием вопрос о зарождении жизни. Если мы согласились, что между живым и неживым нет четкой границы, то лучше поставить вопрос, можем ли мы представить себе условия, необходимые для построения живого вещества из неживого на Земле.

Даже простейшие из молекул, могущих послужить основой жизни, это высокоупорядоченные атомные структуры, и маловероятно, чтобы они образовались при случайном столкновении свободных атомов. С другой стороны, если имелось какое-то вещество, на котором могли оседать свободные атомы, то оно могло служить своего рода матрицей, на которой со временем могли строиться более сложные молекулы. Таким путем образовывалось бы много молекул разной степени сложности, но только для того, чтобы вновь распасться. Но если в какой-то момент образовалась достаточно сложная молекула определенного типа, способная служить шаблоном, по которому могут строиться подобные ей молекулы (подобная молекуле нуклеиновой кисло-

ты, рассмотренной в предыдущей главе, хотя и на более простом уровне), то может начаться эволюция к более сложным, «живым» молекулам.

Первичная жизнь

Было высказано предположение, что на ранних этапах истории земной коры подходящие условия создались на влажных илистых отмелях, которые образовались в широких устьях рек. Другие гипотезы отодвигают возникновение первичной жизни даже на еще более ранний период, до того, как образовалась Земля. Согласно некоторым теориям, Земля (и другие планеты) образовалась из меньших тел, или планетезималей, путем их объединения (а не возникла горячей из вещества Солнца). Такое объединение происходило легче там, где допланетное вещество легко слипалось; на таких планетезималях могли образоваться сложные молекулы.

Другое предположение состоит в том, что сложные молекулы могли создаваться при определенных обстоятельствах под действием излучения Солнца. Наличие кислорода в земной атмосфере защищает поверхность Земли от наиболее активного ультрафиолетового излучения Солнца. Но кислород образовался в результате деятельности жизни на Земле. Первичная атмосфера Земли, вероятно, больше напоминала атмосферу Юпитера, состоящую из таких газов, как аммиак и метан. Недавно был проделан опыт, в котором через смесь этих газов и водяного пара пропускался электрический разряд. Обнаружилось, что при этом могут возникать молекулы аминокислот. Это еще не живые молекулы, но это кирпичики, из которых строятся живые молекулы (см. главу VII).

Примем рабочую гипотезу, что каким-либо из этих путей в первичной атмосфере Земли появились первые самовоспроизводящиеся молекулы. В то же время образовывались другие сложные молекулы, не обладавшие

свойством самокопирования, но они быстро распадались на более простые молекулы, а самокопирующиеся обладали способностью противостоять такому распаду. Таким путем все больше и больше атомов объединялось в самокопирующиеся молекулы.

Естественный отбор

На этом этапе развития жизнь должна была висеть на волоске. Действительно, было, вероятно, много ошибочных начал. Но время от времени одна такая молекула могла перестраиваться в несколько более сложную. Каждое новое изменение начальной молекулы, усиливающее ее способность к самокопированию, имело тенденцию сохраняться за счет менее «действенных» молекулярных структур.

Для правильного объяснения последовательности живых существ можно применить понятие естественного отбора — одну из наиболее важных идей в науке. Она была впервые высказана в хорошо аргументированной форме около 100 лет назад Чарльзом Дарвином в его знаменитой книге «Происхождение видов». Говоря упрощенно, согласно теории естественного отбора, каждое поколение создает индивидуумы, в некоторых отношениях отличные от своих родителей. Те индивидуумы, особенности которых дают им некоторые преимущества (например, лучшие способности защищаться от естественных врагов или отыскивать пищу), будут иметь (в среднем) тенденцию выживать и передавать свои особенности потомкам. Изменения, не дающие таких преимуществ, не обладают повышенной способностью к выживанию по сравнению с другими «бесполезными» отклонениями и в конечном счете исчезают из данного вида.

Теперь становится понятным, почему формы жизни развиваются в направлении наилучшей приспособленности к окружающей среде. Но еще важнее то, что это позволяет жизни изменяться с изменением внешних

условий. Если такие представления о происхождении жизни верны, то условия на *современной* Земле непригодны для ее зарождения; с помощью естественного отбора формы жизни развились так, что они приспособились к новой (богатой кислородом) среде, и оказались совершенно неспособными жить в первоначальной атмосфере Земли.

Сейчас, через 100 лет после появления книги Дарвина, еще идут споры о том, можно ли объяснить все огромное разнообразие жизни на Земле гипотезой естественного отбора. Действительно, существует ряд трудностей в прямом применении гипотезы: например, как объяснить постепенное развитие органа, который дает преимущества в отношении выживания только после того, как он вполне развился, но не на первых порах? Однако нет сомнения, что основные идеи теории эволюции — это самый мощный инструмент для понимания развития жизни на Земле.

Случайность и окружающая среда

Уже после Дарвина было сделано важное уточнение. Для теории эволюции существенно то, что изменения, которые участвуют в естественном отборе, происходят случайно, — это значит, что среда не осуществляет прямого контроля над изменениями в отдельных индивидуумах, а лишь отбирает из них наиболее выгодные. Очевидно, однако, что среда может влиять на рост и развитие индивидуума; иначе не было бы смысла применять удобрения для увеличения урожайности.

Но вызванные средой отклонения не передаются по наследству, так как они не производят изменений в наследственном веществе[1]. Дети человека, ставшего чахлым из-за недостатка доброкачественной пищи,

---

[1] Сейчас имеются серьезные доказательства, что это не так и изменения в организме, вызванные средой, могут влиять на наследственное вещество. Конечно, не все и не всегда. — *Прим. перев.*

вырастут вполне нормальными, если им создать хорошие условия. Но гораздо реже особенности развития отдельного индивидуума могут вызвать существенные изменения в наследственном веществе. Такое изменение называется *мутацией*; именно такие мутации являются «сырьем» для естественного отбора. Пока мы еще не можем уловить, какие именно изменения происходят в молекуле нуклеиновой кислоты, но, вероятно, в ближайшие годы в ряде случаев это станет возможным. Однако мы уже знаем (главным образом из экспериментов над мухами и другими быстро размножающимися существами), что такие изменения могут быть вызваны повышением температуры или поглощением энергии рентгеновских или ультрафиолетовых лучей.

Успешное развитие видов существенно зависит от скорости мутаций. Если скорость мутаций слишком высока, то «ценным» мутациям не хватит времени, чтобы утвердиться внутри вида до того, как произойдет новая мутация, а если скорость мутаций очень мала и условия внешней среды меняются, то числа́ изменений вида недостаточно, чтобы путем естественного отбора вид как целое смог приспособиться к изменяющимся условиям. Но мы не должны удивляться тому, что у существующих видов естественная скорость мутаций близка к наиболее выгодной; те молекулы нуклеиновых кислот, которые имели невыгодную скорость мутаций, были в существующих условиях уничтожены естественным отбором.

Этапы развития

Представив себе общий ход эволюции жизни, мы можем рассмотреть некоторые важные этапы развития жизни на Земле. На первых порах относительно простые самокопирующиеся большие молекулы были совершенно бездеятельны и просто ждали, пока потоки ветра или воды принесут им в нужной химической форме необходимый для самовоспроизведения материал. Однако основная молекула получает большие преиму-

щества, если окружает себя своего рода хранилищем, в котором сырье химически перерабатывается (под воздействием солнечного света) в форму, пригодную для построения второй основной молекулы.

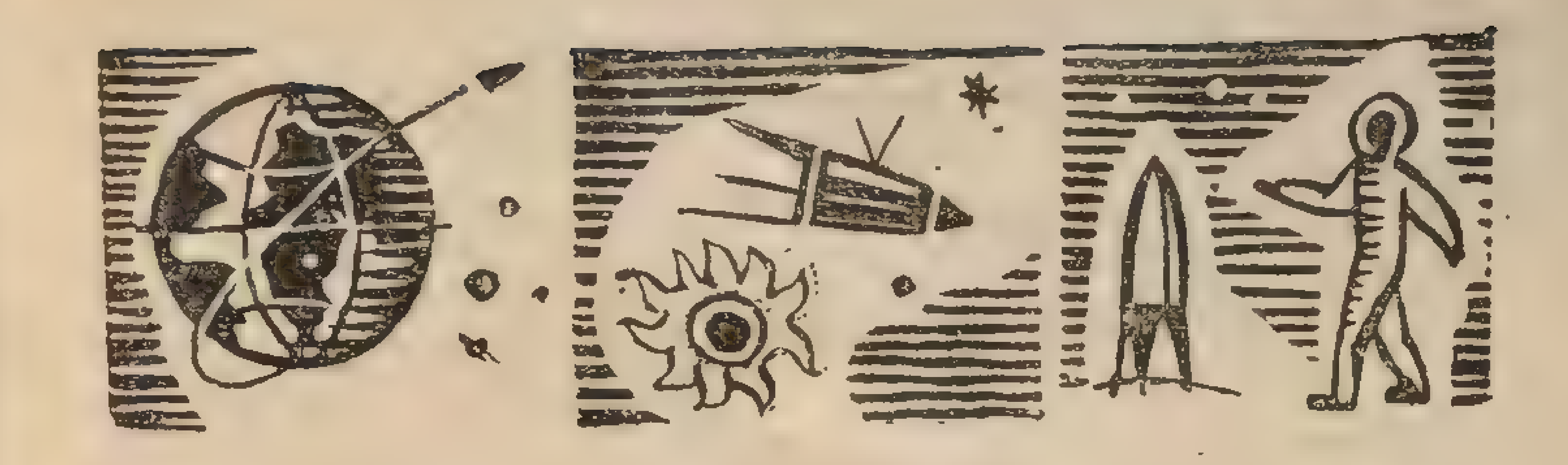
Следующий очевидный этап развития состоит в том, что такой одноклеточный организм становится подвижным и начинает перемещаться с одного места (где необходимое сырье уже исчерпано) на другое. Когда развивающиеся формы жизни приобретают большую подвижность и распространяются во многие места с самыми различными условиями, появляется необходимость в увеличении числа вариантов, среди которых мог бы происходить естественный отбор. Путем естественного отбора развился другой способ образования вариантов. Основой его явилось то, что свойства индивидуума в последующем поколении определяются свойствами не одного только члена предыдущего поколения (вместе с естественно происходящими мутациями), а свойствами двух индивидуумов предшествующего поколения. Каждый индивидуум наследует две молекулы нуклеиновой кислоты, по одной от каждого родителя. Это, несомненно, увеличивает скорость появления новых вариантов (так как комбинация молекул нуклеиновых кислот в индивидууме отличается от комбинаций у родителей), являясь одновременно действенным средством сохранения структур, эволюционная ценность которых доказана. Что-то вроде промежуточного этапа можно наблюдать у некоторых одноклеточных существ. Если посмотреть в микроскоп на воду, в которой долго стояли цветы, можно увидеть большое число одноклеточных существ, называемых туфельками. Как и амеба, туфелька размножается делением пополам, и к каждой дочерней клетке переходит по половине ядра. Но туфельке свойственно также и явление *конъюгации*, при котором два индивидуума обмениваются половинками своих ядер. Затем они расходятся и вскоре после этого делятся.

Вероятно, первичные подвижные одноклеточные существа развились в море, так как отдельному организ-

му легче приобрести подвижность в воде, чем на суше. Действительно, тканевые жидкости всех животных (даже тех, которые постоянно живут на суше), а именно кровь, пот и слезы, соленые. Это прямое указание на то, что какая-то важная стадия развития жизни на ранних этапах проходила в море.

Подвижность не единственное преимущество, которое вода предоставляет развивающейся жизни. Когда формы жизни становятся более сложными, в них появляется согласованность все большего и большего числа химических процессов. Скорость химических процессов существенно зависит от температуры, любое изменение температуры повлияло бы на разные химические процессы по-разному, и согласованность между ними нарушилась бы. В море амплитуда колебаний температуры меньше, чем на суше. Морская вода служит амортизатором между организмом и изменениями температуры на земной поверхности. Кроме того, вода в твердом виде менее плотна, чем в жидком при точке замерзания, так что лед плавает на поверхности воды, а под ним сохраняется еще не замерзшая теплая вода. В динозаврах, живших на Земле несколько миллионов лет назад, мы видим наибольшее развитие водных существ (по крайней мере по размерам). Одним из наиболее поразительных событий в истории жизни является неожиданное исчезновение динозавров; какое-то изменение на Земле (возможно, повсеместная засуха) произошло так быстро, что динозавры не смогли приспособиться к новым условиям. Но в то время как динозавры развились до гигантских размеров, вдали от берегов в менее благоприятных условиях небольшие существа — предки современных млекопитающих — под влиянием суровых условий с помощью естественного отбора развили в себе температурный контроль и стали *теплокровными,* т. е. более или менее независимыми от изменений окружающей температуры. Естественный отбор не остановился на создании существ, выработавших защиту от неблагоприятных внешних условий; он создал также существа, способные изменять внешнюю

среду, приспосабливая ее к своим нуждам. Это основное эволюционное преимущество, которое получили индивидуумы с более чем средним *разумом*. С появлением Человека возникла и еще более важная возможность. С развитием сначала речи, а затем письма каждое поколение человеческого общества может передавать следующему не только возможности развития, наследуемые физической природой Человека, но также и накопленный предыдущими поколениями опыт. Вместо того чтобы открывать заново основные свойства окружающей среды, каждое новое поколение может основываться на опыте своих предков. Именно существование «эволюции культуры» (которая в развитии Человека заменила более раннюю «биологическую» эволюцию) привело к быстрому (если не взрывоподобному) увеличению способности Человека создавать для себя окружающую среду в соответствии со своими нуждами и желаниями.



IX. ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТЬ ЖИЗНИ

В первых главах обсуждение возможности жизни на других планетах во Вселенной основывалось на рассмотрении тех свойств Земли, которые казались необходимыми для существования земной жизни. Но в предыдущей главе мы видели, как процесс естественного отбора направляет развитие жизни по такому пути, что она становится вполне соответствующей окружающей среде и меняется с изменением среды, если последнее происходит не слишком быстро. Встает важный вопрос: в какой степени условия, необходимые для жизни на Земле, суть просто отражение тех условий, в которых развивалась земная жизнь, и насколько они необходимы для других форм жизни? Можем ли мы поставить какие-либо пределы различным условиям, к которым может приспособиться жизнь путем естественного отбора?

Как мы увидим в следующей главе, когда я буду рассматривать решающий вопрос о температуре, высокоорганизованные формы жизни, будучи более сложными химическими и физическими системами, более чувствительны к изменению внешних условий. Если же мы посмотрим только на простые формы жизни, то даже на Земле мы можем найти впечатляющие доказательства действенности естественного отбора в приспособлении жизни к предельно суровым условиям.

Несколько примеров

В частности, мы вскоре обнаружим, что свободный кислород в атмосфере никоим образом не является необходимым условием жизни даже для организмов, использующих окисление в качестве источника энергии. Показано на опыте, что некоторые водоросли и мхи могут жить в запаянных трубках, наполненных стерильными минеральными растворами, не содержащими кислорода. Сначала они живут, выделяя углекислый газ, пока сами не создадут себе атмосферу из CO_2. Затем под действием солнечного света они могут сами создавать кислород и развиваться в более «нормальном» жизненном цикле. Они могут жить таким образом, пока питательная среда, на которой они растут, не будет исчерпана. Они проявляют такую приспособляемость, несмотря на то что к современной форме они пришли путем эволюции в кислородной атмосфере.

Даже наличие солнечного света не так уж необходимо. В почве в большом количестве живут бактерии, не содержащие хлорофилла, но способные создавать нужные органические соединения из неорганического вещества. Их организмы используют химическую энергию, запасенную в естественных химических соединениях почвы, особенно содержащих кислород. Бактерии были найдены даже на глубине четырех километров в нефтеносных слоях; однако это наверное не лучший пример, так как сама нефть произошла из растений, живших в отдаленные эпохи на Земле.

Другие бактерии могут жить даже в более необычных условиях. В Тоскане имеются горячие источники, богатые борной кислотой, и в них живет бацилла Boracicola. Эта же бацилла может жить и в насыщенном растворе борной кислоты и даже в 10%-ном растворе серной кислоты. Но, возможно, самый необычный пример дают бактерии, которые могут жить в концентрированном растворе хлористой ртути (известной под названием сулемы) — сильного яда для большинства форм жизни на Земле.

Вода играет важную роль в развитии жизни на Земле и необходима для большинства живых существ. Тем не менее жизнь может существовать на Земле в условиях крайней сухости. Например, ветры, дующие в горах Памира, вымораживают там воду, образуя снежные шапки на горах и увеличивая ледники. В долинах Памира воздух крайне сух и в полдень влажность падает почти до нуля. Но альпийские растения эволюционно приспособились к столь сухому климату. Даже в пустыне Сахара, где самыми чувствительными приборами нельзя обнаружить воду в почве, существуют микробы, способные собирать и использовать имеющееся там ничтожное количество влаги.

Во всех этих случаях либо в воздухе, воде или минералах почвы присутствует какое-то количество кислорода, либо он вырабатывается самим организмом с помощью фотосинтеза. Может ли жизнь существовать совсем без кислорода? Да, существуют формы жизни, не нуждающиеся в кислороде. Паразиты, находящиеся в кишечнике высших животных, живут в атмосфере углекислого газа, метана, водорода и сероводорода при полном отсутствии кислорода; но они нуждаются для своего существования в потребляющем кислород «хозяине».

Однако надо напомнить, что жизнь на Земле развилась в условиях обилия воды, и не удивительно, что господствующие формы жизни нуждаются в воде и кислороде. Организмы, живущие в необычных условиях, также могли развиться из более нормальных форм жизни путем естественного отбора, так что они могли сохранить в какой-либо форме, прямо или косвенно, потребность в кислороде. Существуют ли какие-либо принципиальные ограничения характера химии, могущей лежать в основе жизни?

Соединения углерода

Одно существенное ограничение было уже установлено. Любой жизненный процесс должен быть основан на химическом элементе — углероде. Даже простей-

шие виды активности, которые еще имеет смысл называть «жизнью», — это сложные химические процессы, и, чтобы предопределить их детали в химическом коде наследственного вещества (нуклеиновой кислоты), нужны сложные молекулы, содержащие по меньшей мере несколько тысяч (а у более развитых форм жизни — несколько десятков тысяч) отдельных атомов. Из всех химических элементов только углерод обладает свойством связываться в длинные цепочки, по-видимому, неограниченной длины и потому служить основой жизни. Эта связь углерода с жизнью на Земле известна давно. В самом деле, химия углеродных соединений называется *органической*, хотя в наше время многие «органические» соединения можно получить в лаборатории без помощи живых существ [1].

Не существует, однако, серьезных оснований для предположения, что те химические реакции, которые участвуют в процессах земной жизни, — это единственно возможная основа для живого. Просто это те реакции, которые оказались наиболее действенными при использовании наличного на Земле химического материала. Окисление, например, лишь одна из многих возможных химических реакций, при которых выделяется тепло. Источником энергии организма могут служить и некоторые другие реакции, кроме окисления, если организм устроен так, что может их использовать.

При современном состоянии земной атмосферы бактерии, не нуждающиеся в кислороде, не способны развиться в более сложные существа, но в других условиях (скажем, на Юпитере) они (как и другие, не использующие окисления формы) могут положить начало главному направлению эволюции. Если мы правильно считаем, что первичная атмосфера Земли не сильно отличалась от современной атмосферы Юпитера и что кислород в земной атмосфере частично появился за счет деятельности растений в прошлом, то, по-видимо-

[1] См. примечание на стр. 74. — *Прим. перев.*

му, даже химические реакции, протекающие в развивающихся организмах, могут меняться со временем в результате естественного отбора.

Малые организмы на Земле могут существовать в очень широких пределах атмосферного давления. Некоторые плесневые грибки и бактерии вполне жизнеспособны при давлении 3000 атмосфер, т. е. в 3000 раз большем, чем давление атмосферы у поверхности земли. Дрожжевые грибки остаются живыми при давлении до 8000 атмосфер. С другой стороны, во время полета аэростата «Эксплорер II» в 1935 году (не путайте с искусственным спутником «Эксплорер») бактерии были найдены на высотах около 20 километров. На этих высотах давление составляет менее 0,1 атмосферы; но эти бактерии, если их потом поместить в подходящую питательную среду, растут вполне удовлетворительно. Споры и семена могут долгое время находиться в вакууме, правда, в состоянии анабиоза.

Даже пределы температур, пригодных для активной жизни, неприменимы строго к микроорганизмам; известно, что бактерии и даже простые растения (водоросли) живут в горячих источниках при температуре 90° С, приспособившись к такой температуре. В следующей главе я рассмотрю, насколько существенно температурное ограничение для активной жизни.

По-видимому, очень трудно поставить какие-то пределы способности жизни приспосабливаться к различным условиям. Действительно, на Земле при крайне суровых условиях мы встречаем только простые формы жизни. Но этого и следовало ожидать, так как эти формы развились вне главного направления эволюции, соответствовавшего более обычным условиям на Земле; ясно, что естественный отбор приведет к преобладанию форм жизни, приспособленных к наиболее распространенным условиям.

Однако мы должны тщательно разграничить условия, при которых жизнь может возникнуть из неживого вещества, и условия, при которых жизнь может существовать через некоторое время, достаточное для то-

го, чтобы развивающиеся формы жизни могли приспособиться к ним путем эволюции. Рассматривая эволюцию жизни на Земле, трудно отделаться от впечатления, что на ранних этапах, когда образовывались первые самовоспроизводящиеся молекулы, жизнь висела на волоске. Естественный отбор был бесполезен, пока не был пройден этот решающий этап, который состоял из тонких и сложных химических реакций. Но, по-видимому, употребление слова «сложный» субъективно, так как означает «сложный по сравнению с химической технологией, созданной до сих пор Человеком»; химия природы куда более хитроумна.

Будущее жизни на Земле

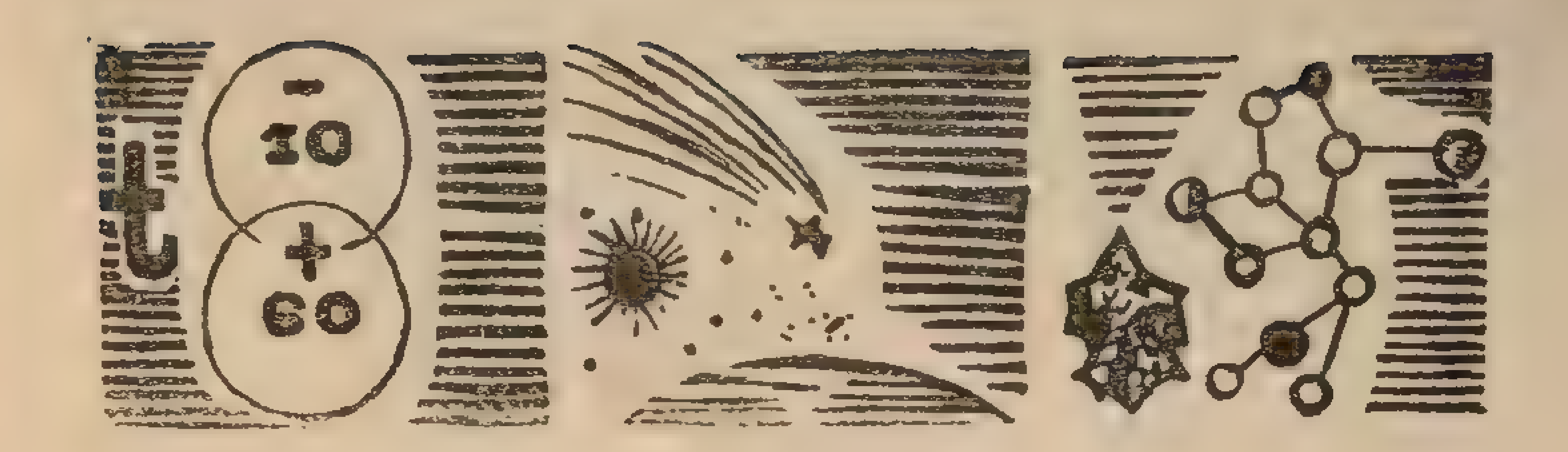
Мы описали развитие жизни на Земле. А каково ее будущее? Мы теперь знаем очень много о том, каким образом звезда, подобная Солнцу, вырабатывает энергию и как меняется со временем ее строение. Последние 5000 миллионов лет или около того Солнце оставалось таким же, каким мы его видим сегодня, и останется таким же в следующие тысячи миллионов лет. (Я не стараюсь строить предположения о влиянии, которое эволюция может оказать на жизнь за столь долгий период; скажу только, что мы не должны непременно с готовностью принимать представления викторианской эпохи о неизбежности непрерывного прогресса.) Но со временем и с Солнцем произойдут изменения. Оно будет постепенно увеличиваться, будет излучать больше света и тепла, чем сейчас. На Земле станет жарко, даже жарче, чем сейчас на Меркурии, и с нее исчезнет вся атмосфера и вода.

После того как Солнце начнет развиваться в направлении стадии красного гиганта, оно будет изменяться очень быстро; скорость этого изменения может быть больше темпов естественного отбора, путем которого господствующие формы жизни приспосабливаются к этому изменению. Такие формы жизни на Земле,

возможно, будут зависеть от создания нужных им искусственных условий; планета, давшая жизнь их предкам, может стать для них самих враждебным миром. Как я заметил в предыдущей главе, появление разума путем естественного отбора произошло вследствие того, что способность организма приспособить к себе окружающую среду — более быстрый путь, чем приспособление самого организма к этой среде. Но это вызывает замедление или остановку «биологической» эволюции. Сможет ли сила разума создавать на Земле искусственные условия, не отставая от все ускоряющегося вследствие эволюции Солнца возрастания температуры? На мой взгляд, существует по крайней мере возможность того, что в этих условиях современные формы жизни могут вымереть и смениться более простыми организмами, химические процессы которых будут более приспособлены к высоким температурам. Дальнейшие изменения Солнца мы пока еще не можем себе ясно представить, но можно полагать, что Солнце закончит свой путь как звезда, значительно менее яркая, чем сейчас. На Земле будет так же холодно, как на Плутоне. Но ее температура изменится от высокой до низкой всего за несколько миллионов лет — гораздо быстрее, чем при непрерывном росте температуры в течение 10 000 миллионов лет. Любая жизнь, развившаяся во время фазы охлаждения, должна будет эволюционировать гораздо быстрее, чем известная нам жизнь.

Сейчас возможность космических путешествий — вопрос, стоящий на повестке дня. Я не сомневаюсь, что в обозримом будущем станет возможным исследование других планет солнечной системы. Другой вопрос, станут ли когда-нибудь такие космические полеты широко распространенными и доступными для большинства людей. (Около 50 лет назад подобные сомнения могли быть высказаны относительно экономических возможностей воздушного транспорта, — а что такое 50 лет по сравнению с 5000 миллионов лет?) Весьма вероятно, что один из способов сохранения современной линии развития земной жизни будет состоять в переносе ее

в другие части Вселенной, когда на Земле условия станут неподходящими для нее. Если это может быть средством поддержания нужной температуры — непрерывное перемещение к внешним частям солнечной системы, когда Солнце будет становиться ярче, и внутрь ее, когда оно будет слабеть, — то прочие условия на других планетах вполне могут быть неблагоприятными. И я вновь полагаю, что попытка разумной жизни приспособить окружающие условия к своим нуждам, вместо того чтобы самим приспособиться к ним, будет невыгодной. Вполне может быть, что планеты унаследуют не *Homo sapiens*, а споры жизни, которые он занесет, хотя и неумышленно, в условия, более пригодные для их эволюции, чем на Земле — более эффективный вариант гипотезы о распространении жизни во Вселенной посредством метеоритов.



X. ЖИЗНЬ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ

В предыдущей главе было показано, что, после того как образовались простейшие живые существа, процесс эволюции с помощью естественного отбора мог приспособить развивающуюся жизнь к самым разнообразным условиям давления и химического состава. Наиболее важное ограничение для активной жизни (какой мы ее знаем на Земле) состоит в температуре. Ясно, что температура играет основную роль в развитии жизни, так как она тесно связана с вопросом об устойчивости сложных молекул, а мы уже видели, что жизнь как таковая определяется сложными молекулами. Ограничение активной жизни узкими температурными пределами было важным пунктом нашего предыдущего обсуждения жизни вне Земли. (Я должен вновь подчеркнуть, что эти пределы относятся к температурам, при которых проявляется химическая активность жизни. Высокоразвитый организм может создать систему температурного контроля, например теплую кровь, чтобы поддерживать на нужном уровне свою температуру, несмотря на изменения внешней температуры.) Насколько это температурное ограничение является существенным?

Внутренняя температура

Здесь в один связаны три разных вопроса. Первый вопрос такой: почему живой организм требует для поддержания жизни более или менее постоянной тем-

пературы? Ответ ясен. Активность живого организма определяется большим числом различных химических реакций, и эти реакции должны быть точно согласованы, каждая должна проходить с нужной скоростью. С ростом температуры скорость всех химических реакций растет, но по-разному, так что группа реакций, хорошо согласованная при одной температуре, не будет согласована при другой. Чем проще организм, тем проще его химия; можно ожидать, что простой организм будет менее чувствителен к изменениям рабочей температуры, чем сложный. Вообще говоря, это так; некоторые бактерии могут жить в интервале температур больше 50° С, тогда как для человека может иметь серьезные последствия изменение температуры его тела всего на несколько градусов.

Тепловое равновесие

Из этого вытекает второй вопрос: что определяет температуру организмов развитых форм жизни? Ответ связан с тем путем, которым организмы освобождаются от тепла, вырабатываемого их жизненными процессами. Тепло, выделяемое организмом, стремится нагреть его и нарушить тем самым химическое равновесие. Организм выработал различные средства для освобождения от этого тепла. Он может отдавать тепло в окружающее пространство с помощью или теплопроводности (особенно важной для существ, живущих в море), или излучения в форме длинных инфракрасных волн. Скорость, с которой организм теряет тепло, должна находиться в равновесии со скоростью, с которой он его производит; если потеря слишком мала, то организм нагревается, а если слишком велика, то охлаждается.

Высшие формы жизни выработали иной способ освобождения от тепла, автоматически изменяя теплоотдачу, если организм меняет скорость вырабатывания энергии. Этот способ состоит в испарении жидкости

(фактически воды) с поверхности тела, так как на испарение расходуется тепло (поэтому палец ощущает холод, если окунуть его в легко испаряющуюся жидкость, например спирт, и дать жидкости испариться). Когда активность организма повышена и тепла вырабатывается больше, чем обычно, то возрастает скорость испарения жидкости с поверхности его тела.

Организм, который не может регулировать скорость освобождения от тепла, для поддержания равновесия между выделением и потерей тепла должен приспосабливать скорость жизнедеятельности к окружающей температуре, впадая в оцепенение в жаркую погоду и усиленно питаясь в холодную.

Тепловое равновесие организма — важный фактор также в связи с его ростом. Предположим, что мы имеем существо, в котором при соответствующей температуре тела и нормальной скорости жизнедеятельности установлено равновесие между выработкой и потерей тепла.

Вообразим теперь второе существо, точно такое же, как первое, с той лишь разницей, что оно вдвое больше во всех измерениях: в длину, ширину и высоту. Его объем будет в *восемь* раз больше объема первого существа, и при той же самой относительной степени активности оно будет вырабатывать в восемь раз больше тепла. Но площадь его поверхности, через которую оно должно терять тепло в окружающее пространство, только в *четыре* раза больше. Способ отвода тепла, подходящий для малого существа, совсем не годится для большого. (Сходная проблема возникает при расчете ракетных двигателей. Проблема состоит в расчете охлаждающей системы, позволяющей поддерживать высокую температуру в камере сгорания без расплавления самой ракеты. Охлаждающая система, работающая на малой ракете, непригодна для большой.)

У разных типов организмов, основанных на той же химии, маленькие существа должны проводить большую часть времени за едой, чтобы компенсировать относительно большие потери тепла с поверхности, тогда

как для больших существ проблема состоит в том, чтобы освободиться от излишков вырабатываемого тепла. Наиболее эффективный путь освобождения от тепла, вероятно, состоит в отдаче его воде посредством теплопроводности; поэтому-то самые крупные млекопитающие, киты, развились в море [1].

У растений, поглощающих солнечную энергию для своей жизнедеятельности, проблема теплового равновесия частично решается изменением количества поглощаемого излучения. Как мы видели в главе IV, при низких температурах растения на Земле поглощают больше инфракрасных лучей Солнца, чем при умеренных.

В условиях сильного холода увеличение поглощения может распространиться в видимую красную часть спектра, отчего растения кажутся заметно голубее, чем «обычные». С другой стороны, при высоких температурах растение будет больше отражать в инфракрасной и красной частях спектра и поэтому казаться глазу более красным. Действительно, водоросли, живущие в горячих источниках при температурах порядка 100° С, скорее оранжевые, чем зеленые [2].

Рабочая температура организмов

Таким образом, проблема теплового равновесия требует, чтобы температура организма не менялась слишком сильно и чтобы рабочая температура организмов, использующих более или менее одинаковые химические реакции, находилась в довольно узких пределах.

---

[1] Это, конечно, не единственная и не главная причина. В воде, по закону Архимеда, все тела легче. На суше кит из-за своего веса просто не смог бы передвигаться. — *Прим. перев.*

[2] Главный путь регулирования температуры у растений состоит в изменении количества испаряемой воды. Отверстия, через которые происходит испарение, — устьица, способны открываться и закрываться. Что касается изменений окраски, то температура оказывает на нее только косвенное воздействие. — *Прим. перев.*

как это имеет место для земной жизни, которая, по всей вероятности, развилась в единой эволюционной последовательности.

Теперь можно поставить третий вопрос. Существует ли какая-либо причина, по которой эти пределы температуры должны быть такими же, как на Земле, скажем,

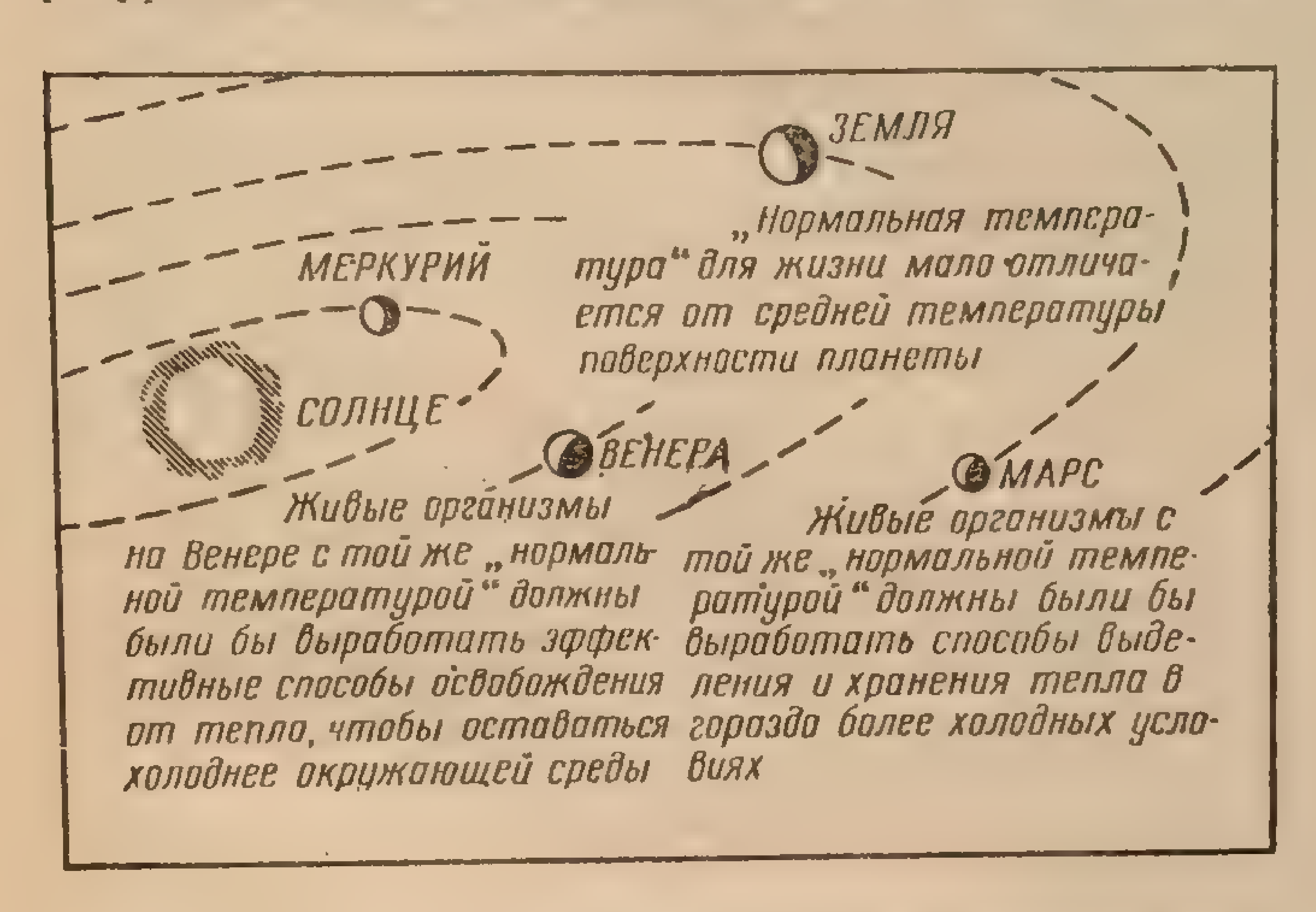


Рис. 17. Окружающая температура имеет решающее значение для процессов жизни на разных планетах.

от —10° С до +60° С? Я думаю, что ответ должен быть отрицательным (рис. 17). Это просто рабочие пределы температуры организмов, использующих химические реакции, сходные с теми, которые использует земная жизнь, и естественный отбор обеспечивает развитие именно тех форм жизни, химическая основа которых соответствует температурам на Земле.

Действительно, именно эти пределы температур охватывают точку плавления льда, а вода играет важную роль в эволюции земной жизни. Но вода — лишь часть окружающей среды, так же как и кислородная

атмосфера, и, хотя она может несколько влиять на эволюцию жизни на Земле, нет веских причин полагать, что ее отсутствие помешало бы возникновению жизни, приспособленной к безводным условиям.

Верхняя граница интервала температур для активной жизни на Земле приближается к абсолютному пределу. Чем выше температура, тем больше вероятность распада сложных молекул, так как, поглощая тепло, молекула поглощает беспорядок, как мы видели в главе VII; для любой данной степени сложности молекулярных структур существует верхний температурный предел. Так как сложность жизни есть по существу сложность молекул, то это определяет верхний предел температуры, при которой может развиваться жизнь данной степени сложности. Конечно, я не предполагаю, что жизнь на Земле достигла максимальной степени сложности, возможной при земных температурах; эволюция происходит уже свыше 1000 миллионов лет, и в течение последующих многих тысяч миллионов лет, как мы полагаем, температура Земли будет много выше, чем сейчас.

По-другому обстоит дело с нижней границей. При понижении температуры возможная степень сложности устойчивых молекул должна увеличиваться. Пока мы не можем проверить это опытным путем, так как мы еще не умеем создавать искусственные молекулы, приближающиеся по сложности к живым, но, вообще говоря, верно, что при нагревании органических молекул сложные распадаются при более низких температурах, чем простые. Поэтому, чем *ниже* температура, тем выше сложность молекул, которые могут служить основой для жизни (естественный отбор обеспечит развитие тех форм, которые соответствуют низким температурам).

Но за низкую температуру надо расплачиваться. Чем ниже температура, тем меньше скорость химических реакций, «низкотемпературная» жизнь была бы гораздо медленнее земной. Но «медленная» — это весьма относительное выражение, означающее «медленная

в сравнении с жизнью на Земле». Почему, например, мы должны считать срок жизни в семьдесят лет «нормальным» повсюду во Вселенной?

Присутствие жизни

Я склонен считать, что, поскольку речь идет о существенных ограничениях для развития жизни, нижняя граница температур, которой мы пользовались в предыдущих главах, имеет чисто местное значение. На планете, близкой к звезде, возможности жизни ограничены, но те, которые существуют, реализуются в (космически) короткое время; на планете, удаленной от звезды, возможностей больше, но скорость развития и эволюции много меньше. Если это так, то мы должны смотреть на Марс не как на старую планету, а как на планету с точки зрения жизни более молодую, чем Земля, и одну из тех, чье будущее развитие может далеко опередить эволюцию на Земле.

Этот общий вывод следует из изучения природы жизни и ее связи с условиями во Вселенной. Если появление жизни на Земле не было всего лишь «счастливой случайностью», зависящей от особого стечения обстоятельств, о которых мы ничего не знаем, то мы можем ожидать, что жизнь разовьется всюду, где есть необходимое сырье, при условии, что температура не слишком высока, т. е. практически на планетах. Кроме того, по-видимому, не существует принципиальных ограничений способности жизни развиваться по пути приспособления к окружающим условиям. Как она будет эволюционировать — это более сложный вопрос. Если посмотреть на историю эволюции жизни на Земле, то можно заметить, что время от времени небольшие изменения или особенности Земли давали начало несколько новому направлению эволюции. Разнообразие, на которое способны молекулярные структуры жизни, несомненно, может быть гораздо большим, чем мы себе представляем.

Я думаю, мы можем быть уверены, что начало эволюции жизни на Земле — образование некоторых типов сложных, «почти живых» молекул — не было «счастливой случайностью». С одной стороны, мы имеем доказательства этому в искусственно созданных аминокислотах, о чем говорилось в предыдущих главах. Более прямые свидетельства были получены недавно на основе анализа метеоритов. Около 1% падающих на Землю метеоритов содержит заметное количество углерода.

Очень тонкий химический анализ, с использованием современной техники и приборов, показал (в одном из проанализированных таким образом метеоритов), что атомы углерода в метеорите связаны в молекулы, содержащие 15 или более углеродных атомов. Это уже довольно сложные молекулы. Было найдено, что свойства этих молекул очень близки к свойствам цитозина, одного из основных нуклеотидов нуклеиновой кислоты. Несмотря на то что современная техника не позволяет вполне определенно отождествить эти молекулы с цитозином, ясно, что где-то в солнечной системе существуют длинные углеродные молекулярные цепочки, которые могут служить основой для развития живых организмов. (Невероятно, чтобы метеорит захватил эти молекулы при прохождении через земную атмосферу, так как внешние слои метеорита слишком горячи. Это, однако, не препятствует сохранению сложных молекул внутри метеорита, так как тепло, образующееся при взаимодействии с атмосферой, не успевает проникнуть в глубь метеорита.) Не известно, были ли метеориты всегда маленькими телами, остатками «планетезималей», из которых в процессе сращения могли образоваться планеты, или они осколки взорвавшейся уже сформированной планеты; внутреннее строение метеоритов говорит скорее в пользу последнего.

В первом случае мы должны предположить, что некий естественный (т. е. неорганический) процесс (возможно, связанный с поглощением солнечного света)

мог создать такие длинные молекулярные цепочки. Однако во втором случае возможно, что найденные в метеоритах длинные молекулярные цепочки — это результат процессов жизни на взорвавшейся планете[1].

---

[1] Современные представления о происхождении метеоритов состоят в том, что метеориты — продукт распада очень небольших тел типа астероидов. Органические соединения в метеоритах едва ли связаны с процессами жизни. Дело в том, что все органические молекулы могут существовать в двух видах: «правом» и «левом», причем один вид является зеркальным отражением второго. «Живые» молекулы существуют только в одной форме; жизнь, таким образом, асимметрична. Органические вещества, полученные без участия жизни, представляют собой смесь обоих типов — рацемат. Вещества, выделенные из метеоритов, тоже рацематы. — *Прим. перев.*



XI. ХИМИЯ ВСЕЛЕННОЙ

В предыдущих главах мы последовательно нарисовали картину жизни как типичного вида химической активности, зависящей от свойств различных сложных химических молекул. Рассматривая природу жизни, мы при обсуждении возможности существования жизни где-либо во Вселенной молчаливо предполагали, что атомы, необходимые для построения живой молекулы, существуют и находятся в состоянии, допускающем образование нужных молекул. (Это, конечно, гораздо более существенное допущение, чем то, что жизнь повсюду использует одни и те же химические *реакции*; мы предположили, что это последнее допущение никоим образом не является необходимым в нашем обсуждении.) Но имеем ли мы право предполагать, что вещество, из которого состоит Вселенная в целом, в основном подобно веществу Земли? Могут ли звезды состоять из совершенно других атомов, о которых нам на Земле ничего не известно? Вправе ли мы предполагать, что, поскольку на Земле только углерод может образовывать сложные молекулярные цепи, во Вселенной нет других атомов, способных к такому объединению.

Мы можем сделать прямой химический анализ вещества, привнесенного на Землю из космоса. Это вещество попадает на Землю в виде метеоритов. В метеоритах мы находим те же самые элементы, что и в



земной коре, примерно в тех же отношениях и в виде сходных соединений; вещество метеорита обычно вполне укладывается в классификацию минералов, найденных в земной коре, хотя имеются и различия в составе, позволяющие опытному химику отличить метеоритные минералы от земных.

Это сходство не является неожиданным, так как те сведения, которые мы имеем об орбитах метеоритов, показывают, что метеориты приходят из солнечной системы. Одно время думали, что астероиды и метеориты произошли из одной распавшейся на куски планеты и что внутреннее строение метеоритов указывает на то, что они раньше были частью большого тела. Однако если принять современные теории, что планеты образовались из меньших тел, или «планетезималей», путем слипания, то мало оснований верить в существование в прошлом десятой большой планеты между Юпитером и Марсом.

Мы можем получить точные сведения о химическом составе метеоритов, так как можем «подержать их в руках» в лаборатории. А как быть со звездами, которые мы можем только наблюдать издали, а не потрогать?

По-видимому, существуют глубокие психологические причины того, что люди гораздо больше доверяют осязанию, чем зрению. Многие люди считают всю астрофизику «гадательной», так как мы не можем экспериментировать со звездами. Но, хотя то, что астрономия является наблюдательной наукой, и создает для нее определенные трудности и определяет характер астрономических приборов, все же нет причин доверять осязанию больше, чем зрению. Когда химик делает прямой химический анализ какого-то неизвестного вещества, он фактически сравнивает химические свойства атомов неизвестного вещества с химическими свойствами известных атомов. Сходным образом, когда астроном делает химический анализ атмосферы звезды, он сравнивает *оптические* свойства атомов звездной атмосферы (т. е. характер поглощения и излучения

света) с оптическими свойствами атомов на Земле. Чтобы сделать это, он пропускает свет от звезды через *спектрограф*.

Астрофизика и спектрограф

В этом инструменте изображение звезды, создаваемое телескопом, падает на щель. Свет проходит через нее (рис. 18), а затем через линзу, которая превращает

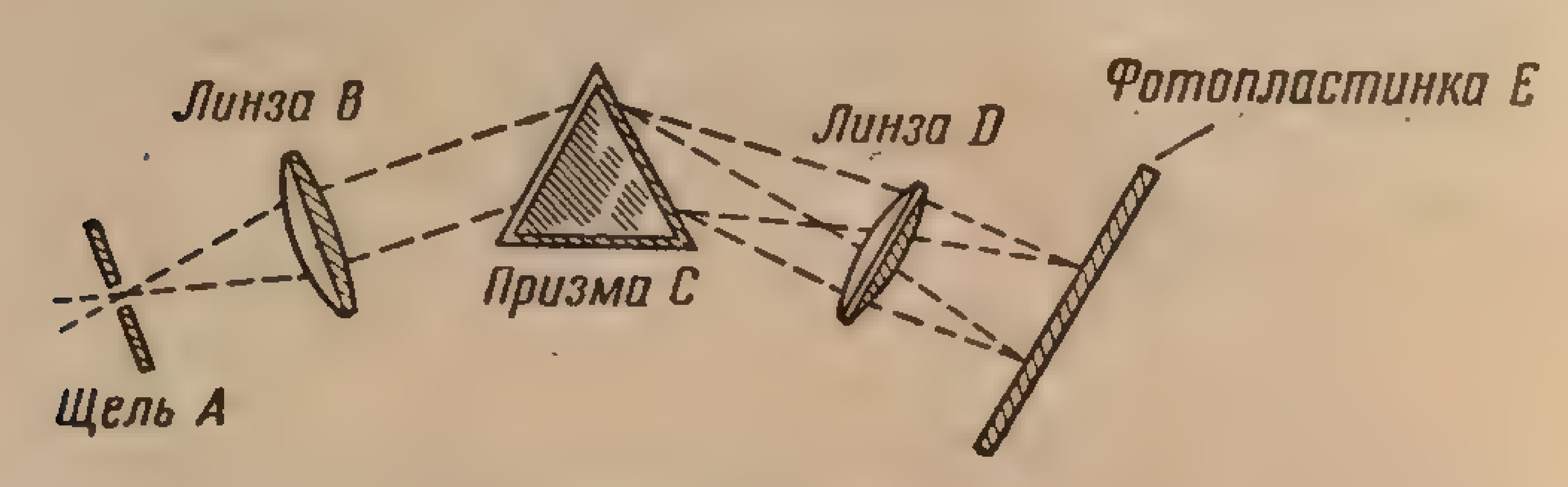


Рис. 18. Расположение щели, линз и призмы спектрографа для анализа света.

его в параллельный пучок. Этот пучок падает на стеклянную призму, обладающую способностью отклонять его в сторону. Но угол, на который он отклоняется, зависит от цвета: красный свет отклоняется меньше, а фиолетовый больше. Проходя через вторую собирающую линзу, свет создает серию изображений входной щели, причем изображения разного цвета ложатся рядом, образуя спектр, который и фотографируется.

Если свет раскаленного тела (например, нити лампочки накаливания) проходит через спектрограф, то его спектр будет непрерывной полоской (как радуга), в которой будут присутствовать все цвета (рис. 19). С другой стороны, свет газоразрядной трубки (например, неоновой) или пламени дает спектр, в котором имеется только ограниченное число цветов. Отдельные изображения щели этих определенных цветов видны в спектре как серия ярких линий. Более того, особая

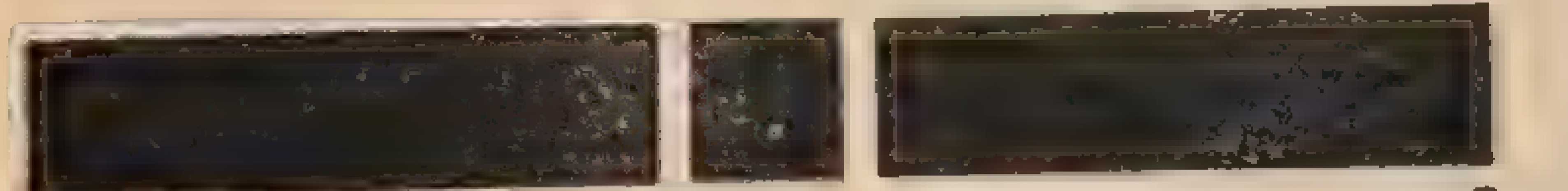
комбинация цветов, появляющаяся в спектре, характерна для того сорта атомов, которые присутствуют в разрядной трубке.



Непрерывный спектр электролампочки

Красный Желтый Фиолетовый

Спектр раскаленного тела



Спектр пламени (белые линии в спектре)



Спектр раскаленного тела с линиями поглощения, возникшими при прохождении света тела через пламя

Рис. 19. Различные типы спектров.

Спектр типичной звезды отличен от этих спектров, так как это *спектр с линиями поглощения* — непрерывно окрашенная полоска с некоторыми пропущенными цветами, которые выглядят как темные линии в спектре. Мы можем получить похожий спектр в лаборатории, пропуская непрерывный спектр от раскаленного тела через газ с меньшей температурой. Темные линии появляются в спектре в тех же самых местах, что и яркие линии в спектре этого газа, когда он нагрет. Так что спектр звезды говорит нам не только о том, какие атомы присутствуют в ее атмосфере, но и о том, что вещество звезды становится горячее по мере продвижения внутрь ее.

Существует другой путь, которым мы можем узнать химический состав звезды. Мы можем использовать известные законы физики для построения теоретической модели звезды, в которой температура, давление и плотность вещества на каком-либо уровне внутри звезды могут быть выражены через массу, светимость, радиус и температуру реальной звезды. Оказывается, что возможные комбинации массы, светимости, радиуса и температуры для одной звезды весьма существенно зависят в некоторых отношениях от ее химического состава, так что мы можем заключить из физического облика звезды, в каких пропорциях находятся в ней водород, гелий и более тяжелые элементы.

На первый взгляд химический состав звезды столь отличен от химического состава Земли или метеоритов, что кажется невероятным, что они могли произойти из одинакового первоначального вещества. Обычая звезда почти целиком водородная, атомы водорода составляют в ней свыше 90%. Следующие по распространенности — атомы гелия, а все остальные виды атомов, вместе взятые, составляют лишь очень малую долю полного их числа. Однако водород и гелий — самые легкие из газов, и Земля не может долгое время удерживать их в своей атмосфере при нынешнем расстоянии ее от Солнца. Если мы забудем об этих легчайших газах и посмотрим только на более тяжелые, то найдем, что относительные количества разных элементов очень сходны во всех телах, химический состав которых нам известен, т. е. в Земле, метеоритах и звездах. Разумно предположить, что звезды и планеты конденсировались из сходного вещества, но меньшие планеты потеряли свой водород и гелий в процессе или после образования

Строение атома

Были сделаны попытки понять, почему химический состав вещества во Вселенной должен быть таким, каков он есть. Атом даже простейшего химического

элемента, водорода, — это сложная система, состоящая из положительно заряженного ядра (протона) и одного отрицательно заряженного электрона, движущегося

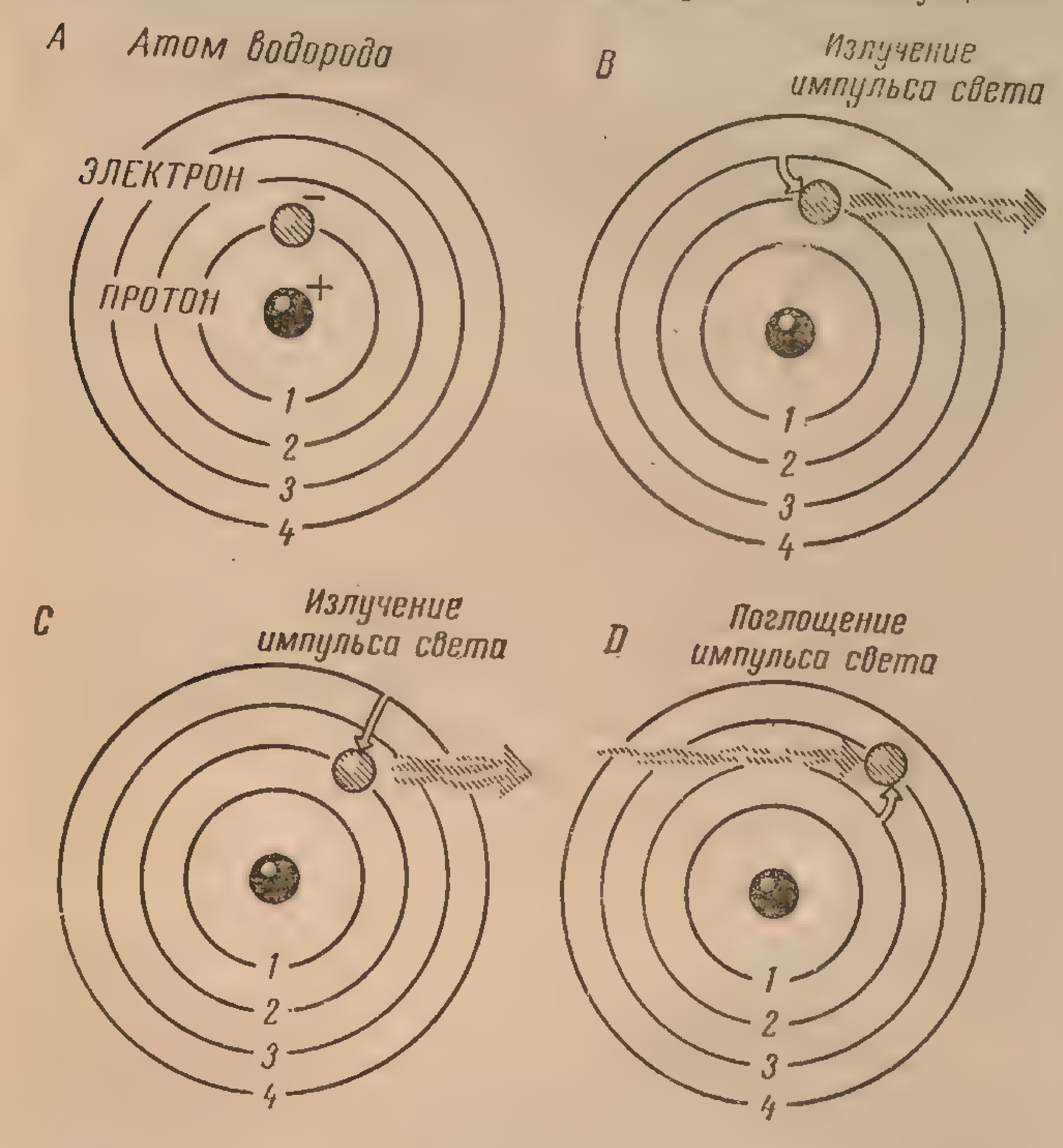


Рис. 20. Сильно упрощенное строение атома водорода и связь между положением его единственного электрона и поглощением или излучением света.

вокруг него, как маленькая планетка вокруг миниатюрного солнца. Модель, показанная на рис. 20, это очень большое упрощение, но для наших целей она достаточна. Электрон может двигаться только по вполне определенным орбитам; когда он перепрыгивает с одной

орбиты на другую, более близкую к протону, атом излучает импульс света в одной из типичных водородных спектральных линий, а когда атом поглощает импульс света, электрон прыгает в обратном направлении. Оптические и химические свойства водородного атома зависят от присущих ему орбит электрона.

Протон примерно в 2000 раз тяжелее электрона. Можно представить себе все нормальные атомы построенными из электронов, протонов и *нейтронов* (частица такой же массы, как и протон, но без электрического заряда). Например, ядро обычного атома гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов. Имея полный положительный заряд ядра, равный двум единицам, ядро гелия может удерживать два орбитальных электрона, и атом гелия в целом нейтрален. Огромное различие в химических свойствах водорода и гелия вызвано исключительно тем, что первый атом имеет только один электрон, а второй — два. Нормальный атом углерода имеет ядро, состоящее из шести протонов и шести нейтронов, и шесть орбитальных электронов.

Главное значение имеет строение ядра, так как оно определяет число электронов, которое может содержать атом. При температурах в несколько тысяч градусов атомы газа сталкиваются достаточно сильно, чтобы выбить внешние электроны, и газ становится ионизованным, но ядро остается нетронутым. Однако при температуре около 15 миллионов градусов, которая существует в центрах нормальных звезд, сами ядра сталкиваются с достаточной силой, чтобы вызвать в них изменения. Одна такая важная реакция, являющаяся источником света и тепла Солнца, состоит в слиянии протонов (ядер атома водорода) с образованием ядер гелия.

Образование элементов

Так как все атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, мы можем постараться понять, при каких условиях совокупность протонов и нейтронов может

слиться в ядра атомов в точно таких пропорциях, которые существуют между атомами во Вселенной. Найти нужные условия, оказывается, очень трудно. Одна теория предполагает, что много миллиардов лет назад наблюдаемая нами Вселенная была гораздо меньше, плотнее и горячее, чем сейчас. Как мы увидим в следующей главе, эта точка зрения согласуется с общей тенденцией к расширению, которую мы наблюдаем в современной Вселенной. На ранних этапах развития такой расширяющейся Вселенной условия были подходящими для образования из протонов и нейтронов ядер тяжелых элементов, но, чтобы получить наблюдаемое соотношение элементов, надо предположить, что начальное расширение происходило точно с нужной скоростью: достаточно медленно, чтобы могли образоваться тяжелые ядра, но в то же время достаточно быстро, чтобы не успело установиться распределение ядер по различным типам, полностью соответствующее падающей температуре. По-видимому, современное распределение ядер обусловлено не одним, а несколькими значениями температуры.

Другая теория, оказавшаяся одной из наиболее плодотворных, состоит в том, что тяжелые элементы образуются из водорода постоянно и повсеместно. Местами, где создаются тяжелые элементы, являются центральные области звезд. Теория далеко еще не разработана во всех деталях, но следующий очерк дает представление о происходящих процессах (рис. 21). Образование звезды начинается с конденсации межзвездного вещества, которое мы для начала примем состоящим из чистого водорода. При сжатии звезды под действием собственного притяжения центральная область ее становится горячее, пока не достигается температура, при которой ядра водорода сливаются в ядра гелия.

В течение времени, определяемого массой звезды и измеряемого многими миллионами лет, звезда, пока образуется гелий, светит более или менее равномерно.

Однако наступает время, когда водород начинает истощаться. Это происходит сначала близ центра звезды, и звезда приобретает гелиевое ядро; в это же время

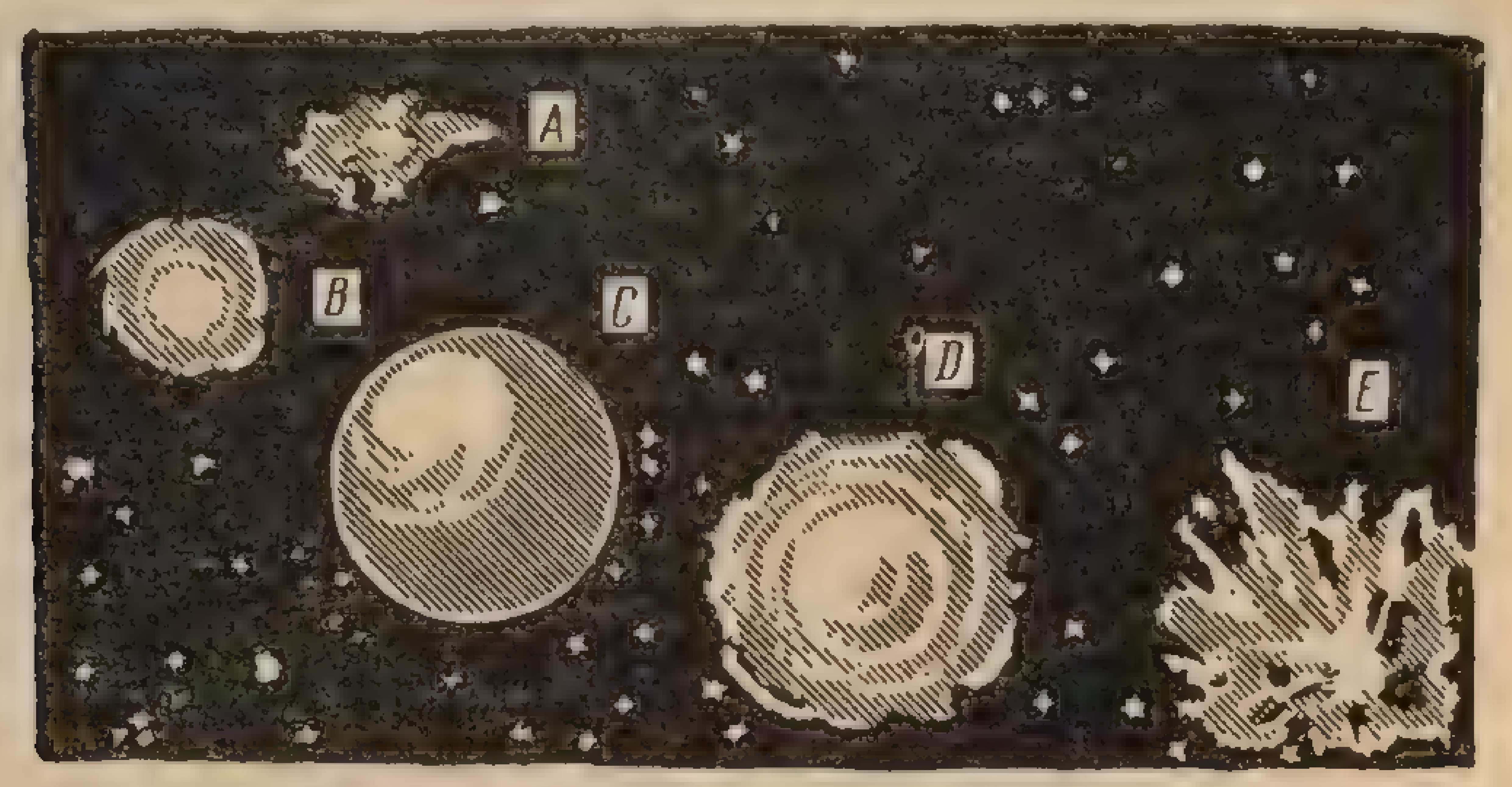


Рис. 21. История жизни звезды: *A* — конденсация из межзвездного вещества; *B* — сжатие и нагревание; *C* — расширение и охлаждение поверхности; *D* — дальнейшее сжатие с образованием тяжелых элементов; *E* — взрыв сверхновой с выбрасыванием вещества в пространство.

она расширяется и становится красным гигантом. Когда весь имеющийся водород использован, звезда уже не может оставаться «раздутой» и начинает под действием своей тяжести снова сжиматься и температура в центре вновь растет. Когда она достигает примерно 100 миллионов градусов, начинается новая ядерная реакция — гелий превращается в углерод. Теперь эволюция звезды идет очень быстро, и поэтому, хотя каждая звезда может в свое время пройти через фазу выгорания гелия, доля звезд, действительно сжигающих гелий в какой-либо данный момент, будет очень мала. Модели сжигающих гелий звезд еще очень ненадежны.

Что происходит потом, точно не известно, но, по-видимому, когда наличный гелий исчерпан, звезда вновь начинает сжиматься и центральная температура снова растет. Когда она достигает примерно 1000 миллионов градусов, становятся возможными новые термо-

ядерные реакции с образованием ядер тяжелых элементов, таких, как магний, кремний и т. д. Такой процесс будет продолжаться шаг за шагом со все увеличивающейся скоростью, пока не образуются все тяжелые элементы. Эволюция теперь будет столь быстрой, что звезда станет неустойчивой и взорвется, разбрасывая вещество в межзвездное пространство, и это вещество смешается с уже имеющимся там межзвездным водородом. Мы наблюдаем такие взрывающиеся звезды — они называются *сверхновыми*. Хотя многие детали этой теории еще предстоит разработать, я думаю, что в общих чертах она очень убедительна. Она объясняет не только распределение атомов различных элементов во Вселенной, но также и некоторые отличия одной звезды от другой.

Звезды с очень малым содержанием тяжелых элементов можно считать звездами первого поколения, образовавшимися из почти чистого водорода; звезды с большей долей тяжелых элементов (одной из которых является Солнце) — это звезды второго поколения, образовавшиеся из межзведного вещества, которое уже было обогащено тяжелыми элементами при взрывах звезд первого поколения. Если эта теория верна, то атомы Земли, по которой мы ходим, бумага, на которой напечатана эта книга, и атомы, из которых состоим мы с вами, в отдаленном прошлом образовались в центре звезды! Пока мы еще не знаем, насколько эта теория близка к истине. Но верна она или нет, мы можем быть уверены в одном (просто на основе наших наблюдений спектров звезд): с точки зрения вещества, из которого она состоит, Земля ни в чем не является особенной. Часты ли или редки планеты во Вселенной, мы можем быть уверены, что, где бы они ни образовались, они будут содержать основные элементы, необходимые для развития жизни. В этом, если не в других отношениях, предположения, которые мы сделали, пока не встречают возражений. Осталось только обсудить теории эволюции Вселенной, и этим обсуждением мы закончим книгу.



XII. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Мы видели, как могло бы происходить образование элементов из водорода внутри звезд. Пока это, конечно, предположение, но оно обладает большими возможностями для дальнейшего развития. По этой теории звезды конденсируются из межзвездного вещества в несколько этапов, причем на каждом из них более простые элементы превращаются в более тяжелые, и, наконец, звезды разбрасывают при взрыве свое вещество в пространство, обогащая имеющийся там водород тяжелыми элементами. Из этого обогащенного межзвездного вещества конденсируются новые звезды, и так далее. Каким-то образом в этом процессе из вещества, первоначально находившегося в недрах звезд первого поколения, образуются планеты. Следовательно, новые планеты — возможные места для развития жизни — образуются во Вселенной и сегодня. Всегда ли условия во Вселенной будут подходящими для образования планет у звезд, способных поддерживать на них умеренную температуру? Или Вселенная сама должна подчиниться второму закону термодинамики и прийти в неподвижное, однородное состояние? Если посмотреть на жизнь во Вселенной в масштабе не только расстояний, но и времени, то этот вопрос является решающим.

Все разнообразные теории происхождения и эволюции Вселенной четко разделяются на две группы. Это теории, утверждающие, что Вселенная развивается и



умирает, и теории, по которым Вселенная в целом остается в неизменном состоянии, хотя отдельные объекты (звезды, галактики и т. д.) эволюционируют. Но, прежде чем обсуждать эти теории, я хотел бы сказать несколько слов о ранней (и ныне полностью отброшенной) картине Вселенной, имевшей хождение в средние века и связанной с именем Аристотеля, так как это введет нас в суть вопроса.

Система Аристотеля

В системе Аристотеля Земля, один из четырех основных «элементов», является центром Вселенной. Другие три «элемента»: вода, воздух и огонь — располагаются в указанном порядке по концентрическим сферам вокруг Земли на присущих им местах. Если какой-либо из элементов вывести из равновесия, то он автоматически возвращается на отведенную ему сферу. Комок земли, подброшенный в воздух, падает назад; вода, поступающая в воздух в виде облаков, выпадает дождем на земную поверхность; пламя на Земле кажется поднимающимся вверх к небесам. Выше сферы огня находятся Луна, Солнце, планеты и звезды, движущиеся вокруг Земли изо дня в день с помощью сложной системы хрустальных сфер.

Эта система действительно могла объяснить многие особенности поведения движущихся предметов в повседневной жизни. Но вещество Земли, с одной стороны, и Луна, Солнце и звезды — с другой, противопоставлялись друг другу, так как небесные тела не падали на Землю, а вечно продолжали движение по своим путям вокруг Земли. Для Аристотеля все вещество выше сферы Луны было *качественно* отлично от вещества Земли; если земное вещество распадается и стремится вниз, то небесное неизменно и вечно. Если все земное было преходяще, то оставалась надежда на вечное существование Вселенной. Гелиоцентрические системы Коперника и Кеплера лишили Землю ее исключитель-

ности — планеты оказались подобными Земле и также подверженными изменениям. А если и планеты, то почему бы не звезды и Солнце? Слабое утешение!

Галилей и Ньютон разрушили стену между земным и небесным веществом, показав, что те же законы движения, которые управляют падением тел на Землю, управляют и движением планет (включая Землю) вокруг Солнца. Современными методами астрофизики окончательно показано, что вещество звезд состоит из тех же атомов, что и вещество Земли. Должны ли мы в таком случае прийти к выводу, что Вселенная обречена на распад?

Теории Вселенной

На первый взгляд кажется, что должны, и это подкрепляется тем фактом, что Вселенная в целом, по-видимому, расширяется и рассеивается. Если мы посмотрим на свет, идущий от удаленных звездных систем, то заметим, что хорошо знакомые нам спектральные линии систематически смещены к красному концу спектра; чем дальше галактика, тем больше красное смещение. Единственное объяснение, которое может дать физика такому смещению, состоит в том, что оно обусловлено скоростью, с которой галактики движутся от нас.

Если красное смещение действительно вызвано движением, то это значит, что все галактики разбегаются и плотность вещества во Вселенной должна становиться все меньше и меньше, и в конце концов она превратится в пустоту (рис. 22). Это расширение относится не к отдельным галактикам, а только к расстояниям между ними. Но это дает лишь небольшую отсрочку, так как сами звезды, непрерывно превращая имеющееся ядерное горючее в тяжелые элементы, должны в конечном счете умереть навсегда (рис. 23).

Согласно этой картине, Вселенная вначале (несколько десятков миллиардов лет назад) была очень

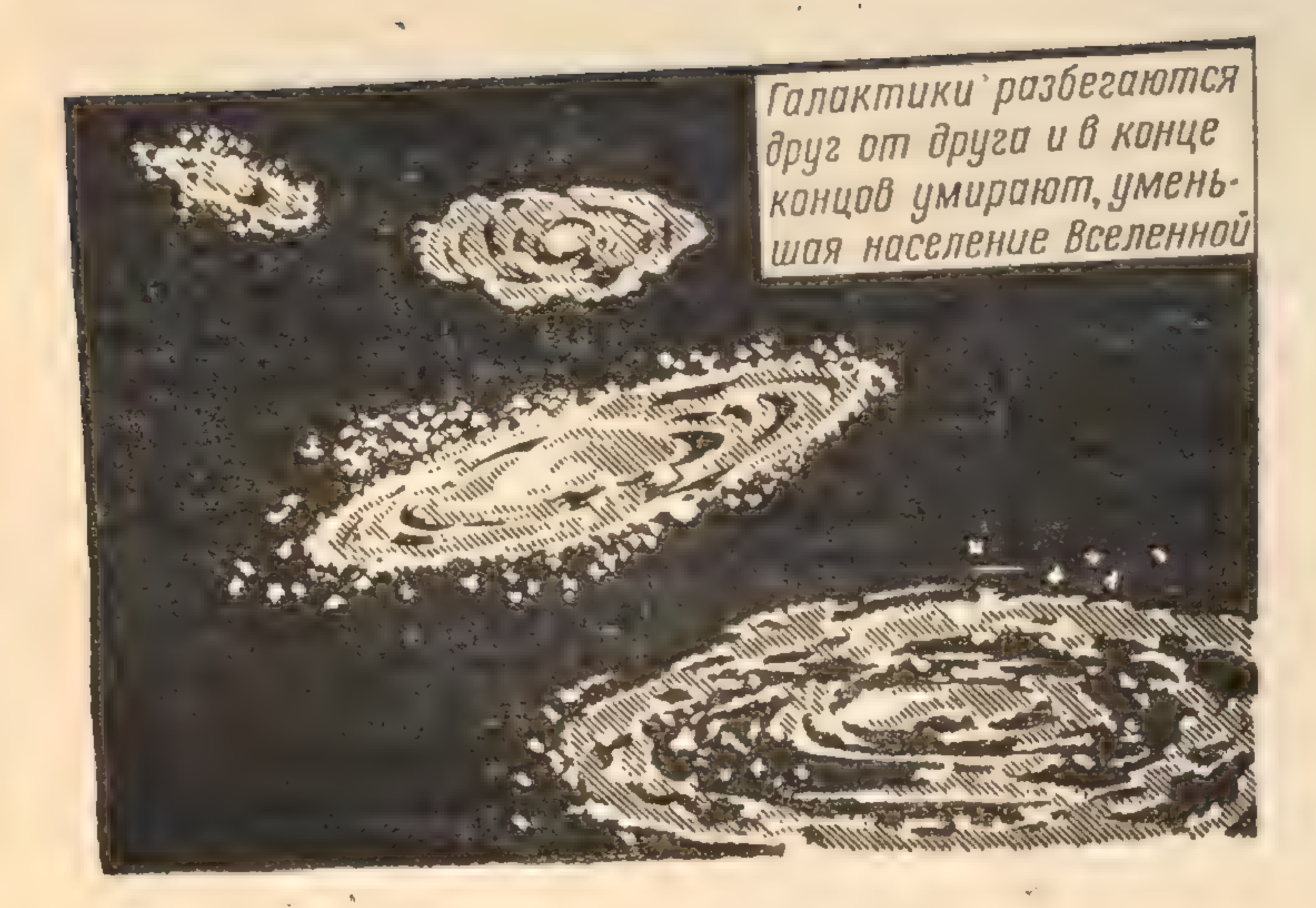


Рис. 22. Разбегание галактик.

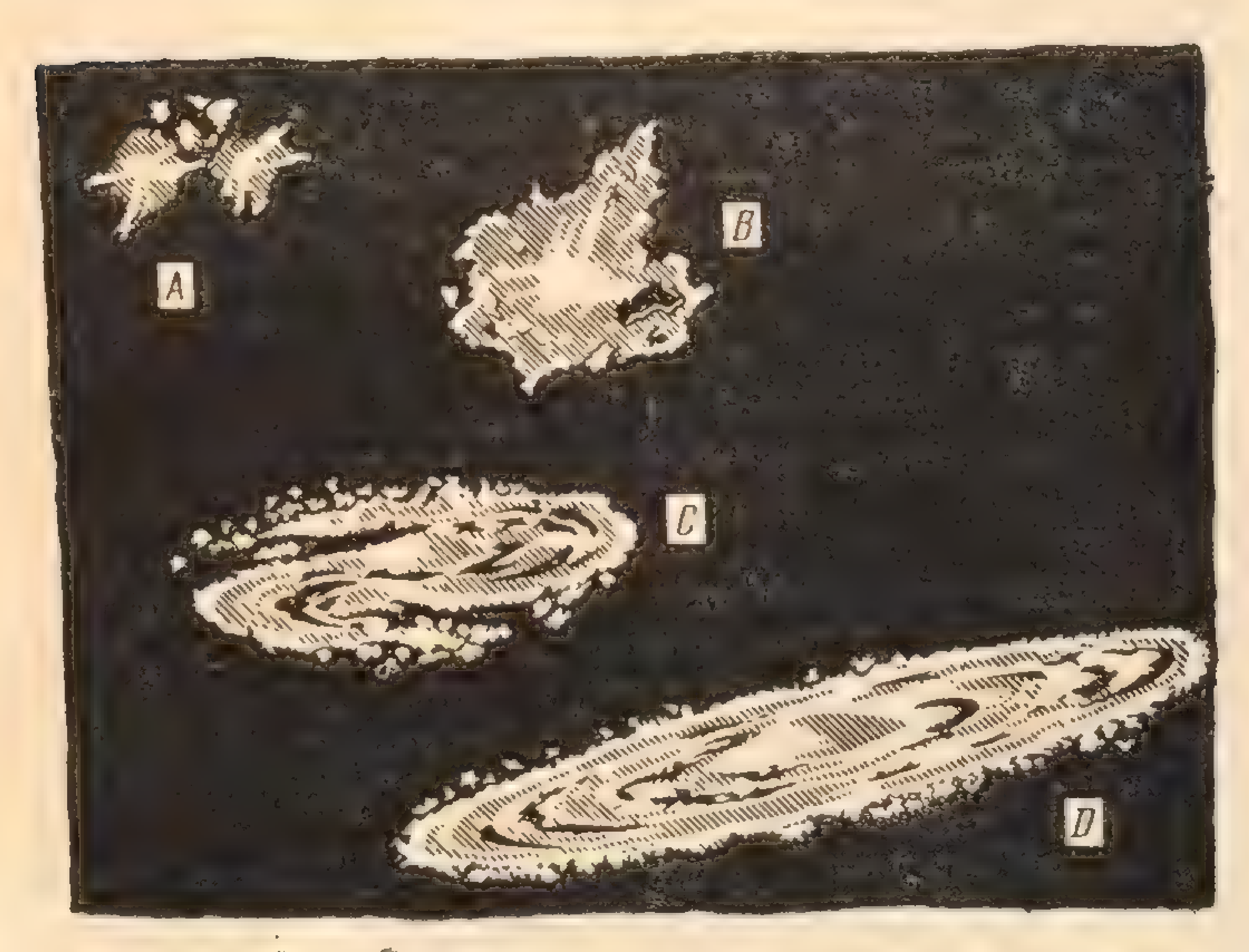


Рис. 23. Согласно одной из теорий, галактики, как и звезды, образуются из межзвездного вещества, становятся ярче и со временем гаснут.

маленькой, очень плотной и очень горячей системой, которая быстро расширялась и продолжает расширяться и сейчас. Если это так, то очень удаленные галактики (которые мы видим такими, какими они были много времени назад, так как свет имеет конечную скорость) должны нам казаться более близкими друг к другу.

Другие теории отрицают, что Вселенная в целом эволюционирует. Вместо этого они утверждают, что, хотя отдельные звезды и галактики развиваются и умирают, появляется новое вещество и образуются новые галактики и Вселенная в целом находится в неизменном состоянии. Если это так, то Вселенная на больших расстояниях (т. е. в далеком прошлом) в своих самых общих свойствах должна быть такой же, как и близкие к нам ее участки. Недавние радионаблюдения большого числа очень удаленных галактик, по-видимому, подтверждают «взрывную» картину Вселенной, но, пока не проведено детального истолкования этих наблюдений, «обвинение» против теорий неизменного состояния нельзя считать доказанным.

Противоречат ли эти теории общему закону уменьшения порядка (второму закону термодинамики), основанному на данных земной физики, который я изложил в главе VII? Не обязательно, так как этот закон приложим только к замкнутой системе, изолированной от окружающей среды. *Кажется*, что живой организм игнорирует этот закон, но это только потому, что он поглощает порядок из окружающей среды. Если взять организм и среду вместе, то во всей системе порядок уменьшается, хотя порядок *части* системы (живого организма) может оставаться постоянным или возрастать. Важный вопрос состоит в том, можно ли Вселенную в целом рассматривать в этом смысле как замкнутую систему. Если Вселенная бесконечна, то сомнительно, чтобы второй закон термодинамики был к ней в целом строго применим.

Теории Вселенной разделяются и по другому признаку: конечна или бесконечна в пространстве Вселенная? Конечная Вселенная не может иметь какой-то

границы с находящимся вне ее пространством. Само пространство должно быть ограничено, как ограничена поверхность Земли. Поверхность Земли не имеет края: если идти по прямой в каком-либо направлении, то в конце концов придешь туда, откуда вышел, при условии, если оставаться на двумерной поверхности Земли. В замкнутой Вселенной, в каком бы направлении ни идти по «прямой линии» в трех измерениях, придешь снова в ту же точку, не встретив нигде какой-либо границы.

Такую Вселенную трудно себе представить, но, я думаю, не труднее, чем бесконечную в пространстве Вселенную. Ибо, если Вселенная бесконечна в пространстве, разве не должны все возможные сочетания атомов встречаться в ней бесконечное количество раз? Разве не находилось бы на бесконечном множестве планет бесконечное множество людей, читающих бесконечное множество различных книг о Жизни, написанных бесконечным множеством авторов? Это было бы верно, если бы число возможных сочетаний атомов было конечным, а в этом мы не можем быть уверены. Но если обсуждение бесконечности Вселенной и может быть важным для космологии, то строить предположения о различиях между отдельными объектами или событиями в бесконечной Вселенной — дело бесполезное, так как мы никогда не сможем наблюдать больше, чем бесконечно малую ее часть. Больше я о бесконечности говорить не буду.

Наука и предположение

Мы должны точно разграничить понятия «предположение» и «гадание». Если последнему нет места в науке, то первое далеко не чуждо ей и является источником ее жизненной силы. В большей или меньшей степени все научные теории основаны на предположении. Действительно, чем более фундаментальной и далеко идущей является теория, тем более умозритель-

ной она кажется в момент, когда она впервые выдвигается. Совершенно ошибочно полагать, что наука имеет дело только с «голыми фактами» (какими бы они ни были). Одно лишь накопление фактов — это простейшая форма науки. Зрелая наука стремится связать эти факты воедино, увидеть связи между казавшимися до сих пор независимыми свойствами Вселенной и, что самое важное, предложить новые наблюдения или эксперименты. Утверждение, не содержащее предположений (иначе говоря, теория, не дающая нового взгляда на Вселенную), вряд ли будет важным вкладом в развитие науки.

В науке важно то, что всегда, когда это возможно, теории подвергаются проверке новыми наблюдениями и опытами. Одна из трудностей астрономии состоит в том, что подчас невозможно по техническим причинам провести необходимые для проверки теории наблюдения (из-за недостатка света, возможностей телескопа или из-за поглощения света в земной атмосфере). Я не думаю, что по этой причине астрономы не должны выдвигать теорий, ибо, пока теория формируется, нельзя заранее знать, возможна или нет решающая для нее проверка наблюдениями. А без действенной теоретической базы астрономия, как и другие науки, зачахла бы. Необходимо, однако, где только возможно, увязывать теоретические предположения с наблюдениями. Многое из того, что я говорил в этой книге, к сожалению, является лишь предположением. Но я надеюсь и верю, что попытка исследовать место, занимаемое жизнью во Вселенной, на основе нашего знания астрономии и биологии не есть *пустое* гадание.

В этой попытке мне пришлось забраться в области, в которых я не являюсь специалистом. Однако на определенном уровне специализации важно время от времени попытаться перебросить мостик между науками и нарисовать более общую картину. Я надеюсь, что мои коллеги биологи и химики (у которых я в долгу за проявленное ими в многочисленных беседах терпение) согласятся со мной хотя бы в этом.

Подводя итоги, я думаю, что было бы неверно стоять на наивной точке зрения и сосредоточивать внимание на частных потребностях земной жизни, полагая, что она имеет лишь непрочную опору во Вселенной, в лучшем случае безразличной к жизни, а в худшем случае — враждебной. Вспомнив, что мы знаем о природе жизни и ее свойстве приспосабливаться (путем естественного отбора) к разнообразным условиям, мы можем значительно раздвинуть границы возможности ее существования на других планетах. Если жизнь на звезде или планете, очень близкой к звезде, невозможна, то было бы неразумным исключать возможность ее существования на других планетах. Я считаю, что жизнь (даже разумная) — это нормальное проявление свойств материи во Вселенной, такое же, как звезды и галактики.

В заключение я хотел бы коснуться трех вопросов, которые, как я обнаружил при беседах, волнуют людей, не связанных с наукой. Не делают ли гигантские размеры Вселенной, установленные современной астрономией, человеческую жизнь незначительной и неважной? Я этого не думаю. Мы не должны оценивать важность и значимость размерами. По-моему, большее значение имеют не размеры Вселенной, а тот факт, что человеческие существа, местопребывание которых пока ограничено Землей (крохотной пылинкой в космосе), могут тем не менее рассуждать о Вселенной в целом и пытаться (пусть несовершенно) понять ее.

В некоторых людях научный анализ природы жизни почему-то убивает способность изумляться жизни. И с этим я не могу согласиться, так как почтительное отношение не есть привилегия невежества. Африканский бушмен, впервые взглянувший на телевизионный экран, может изумиться «картинкам в ящике». Но это чувство преходяще и при более близком знакомстве с предметом рассеивается. С другой стороны, знание того, как создается телевизионное изображение, вызывает (по крайней мере, у меня) глубокое уважение к искусству многих ученых и техников, сделавших воз-

можным создание телевизора. Это чувство облагорожено и смягчено знанием и более длительно. Подобным образом, изучив сложное химическое строение жизни, я обнаружил, что мое чувство изумления не уменьшилось, а возросло.

Другая трудность состоит в том, что из нашей картины, кажется, выпало чувство цели, столь важное для нас как человеческих существ. Может быть, конечно, что чувство цели возникает в живых существах по не менее глубокой причине, чем очевидная необходимость поддержания жизни. Но, даже если мы отвергнем это объяснение, я не вижу причин, почему естественный отбор сам по себе не может быть инструментом для осуществления цели во Вселенной. И если Вселенная эволюционирует к состоянию распада, когда жизнь будет невозможна, это не отрицает, как мне кажется, значения развития жизни в отведенный ей промежуток времени. Симфония Бетховена не будет менее значительной, если никогда больше не будет исполнена; ее значение состоит в том, что ее играют и слушают, а не в возможности того, что она вновь будет исполнена в будущем.

Но это вопросы, которые нельзя обсуждать научно, так как наука не может ни определить понятие цели, ни обнаружить существование ее во Вселенной. Конечно, картина жизни и Вселенной, которую дает ученый, лишь часть полной картины. Психолог, социолог, философ нарисуют другие картины. При этом каждый из них увидит свое изображение как в призме,— сложной призме, в которой целое создается совокупностью изображений на многих гранях. Я по необходимости взглянул лишь на одну грань призмы — достаточно и этого.

СОДЕРЖАНИЕ

7


Майкл В. Овенден

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Редактор *Р. Г. Шнейдер*
Художник *В. Л. Кейдан*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *А. В. Грушин*
Корректор *Л. Д. Кучерова*
Сдано в производство 3/XI 1964 г. Подписано к печати 24/III 1965 г.
Бумага 84×108¹/₃₂ 1,888 бум. л. 6,15 печ. л. Уч.-изд. 5,12
Изд. № 27/3024 Цена 26 коп. Зак. 5749.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Произв.-издат. комбинат ВИНИТИ
Люберцы, Октябрьский пр., 403


26 коп.
Si
Si
Si
C
C
C

издательство „мир“

